
THE ROYAL SANITARY INSTITUTE, FOUNDED 1876.
SALUS GENERIS HUMANI.

RECHERCHES

SUR

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE DES EAUX D'ÉGOUT

MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

CAISSE NATIONALE DES RECHERCHES SCIENTIFIQUES

RECHERCHES

SUR

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE

DES EAUX D'ÉGOUT

EFFECTUÉES A L'INSTITUT PASTEUR DE LILLE

ET A LA STATION EXPÉRIMENTALE DE LA MADELEINE

PAR

LE Dr A. CALMETTE

Membre correspondant de l'Institut et de l'Académie de Médecine

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

E. ROLANTS

Chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille

F. CONSTANT

Préparateur à l'Institut Pasteur de Lille

E. BOULLANGER

Chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille

L. MASSOL

Préparateur à l'Institut Pasteur de Lille

ET DE

M. LE PROFESSEUR A. BUISINE

Directeur de l'Institut de Chimie de la Faculté des Sciences de Lille

PREMIER VOLUME

PARIS

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1905

INTRODUCTION

Tous les êtres vivants, depuis les microbes jusqu'à l'homme, produisent des excrétions, résidus de leur nutrition et de leur activité vitale, dont l'accumulation ne tarde pas à devenir nuisible pour leur existence. La levure de bière périt en quelques semaines dans le moût sucré dont elle a achevé la fermentation alcoolique : de même, les animaux supérieurs et l'homme succomberaient bientôt s'ils étaient obligés de vivre au milieu de leurs déjections. Mais la faculté qu'ils possèdent de se mouvoir sur de larges espaces leur permet heureusement de s'en éloigner.

Les anciens hommes menaient une vie nomade : aussitôt que l'endroit où ils campaient devenait insalubre, ils s'en allaient ailleurs. Le problème de la destruction des immondices ne présentait donc pour eux aucun intérêt. Plus tard, les peuples plus policés éprouvant le besoin de construire des villes, établirent celles-ci au bord de la mer ou sur les rives des cours d'eau qui leur servaient en même temps de voies d'accès et d'égouts.

De nos jours, il en est encore ainsi pour beaucoup de grandes cités : Marseille, Toulon, Bordeaux, Lyon, Nantes, rejettent à la mer ou dans des fleuves la plupart de leurs résidus. Paris, Londres, New-York, Liverpool, Hambourg faisaient de même jusqu'à ces dernières années. Mais l'abondance des déchets de ces énormes agglomérations devint si considérable, que les fleuves restaient souillés sur une longue étendue de leur parcours et que la mer ramenait constamment

sur les rivages la plus grande partie des immondices qu'on y déversait.

Un tel état de choses présentait de graves dangers pour la santé publique. On assistait de temps à autre à des hécatombes meurtrières causées par de terribles épidémies de peste, de choléra ou de typhus. Ces maladies, dont la cause était alors ignorée, fauchaient d'un seul coup des multitudes de vies humaines.

Lorsqu'on s'aperçut enfin qu'on pouvait les empêcher de se propager et de naître, et qu'il suffisait pour cela d'assainir les demeures, d'éloigner les ordures et de procurer aux habitants des villes une eau potable indemne de toute pollution, les autorités publiques se virent contraintes d'édicter des mesures pour faciliter l'évacuation et la destruction des immondices et pour protéger les cours d'eau.

Bientôt, la plupart des nations civilisées élaborèrent des lois et des règlements prescrivant l'interdiction de déverser dans les rivières ou les fleuves des matières excrémentielles ou résiduaires. Mais comme il n'existait aucun moyen pratique de se débarrasser de celles-ci autrement qu'en les utilisant comme engrais, et que cette utilisation n'était possible que dans un petit nombre de circonstances, les lois et règlements restèrent le plus souvent inappliqués.

On dut alors se mettre à la recherche de procédés permettant de purifier les eaux d'égout et de les rendre inoffensives. De nombreux travaux ont été entrepris dans ce but depuis près d'un demi-siècle, surtout en Angleterre, en Amérique et en France, sur le rôle épurant du sol cultivé, puis sur l'épuration par divers réactifs chimiques, puis enfin sur la filtration intermittente et l'épandage.

Quelques-uns de ces systèmes donnèrent des résultats très satisfaisants. Mais les uns étaient subordonnés à la qualité du sol et exigeaient des surfaces énormes dont on ne pouvait qu'exceptionnellement disposer au voisinage des villes. Les autres, défendus pour la plupart par des droits de brevets et qui devaient, au dire de leurs auteurs, procurer des bénéfices

considérables par l'exploitation des matières fertilisantes contenues dans les eaux d'égout, ne produisirent que des déboires, de sorte qu'un très grand nombre de villes et d'établissements industriels, se trouvant dans l'impossibilité de garantir aux autorités sanitaires que les cours d'eau seraient préservés de toute contamination, ont préféré jusqu'ici renoncer à l'établissement de réseaux d'égout et même à la construction de water-closets!

Tout récemment (1895) un procédé nouveau, basé sur l'activité destructive des microbes à l'égard de la matière organique, fut proposé par un chimiste anglais, *Dibdin*, et éveilla aussitôt l'intérêt du monde savant. Le principe qu'il tentait d'appliquer était ingénieux. Il s'appuyait d'ailleurs sur des faits scientifiques déjà antérieurement bien établis. On l'expérimenta en toute hâte dans quelques localités d'Angleterre et, sauf dans la grande ville industrielle de *Manchester*, où il a fait l'objet d'études pratiques d'une importance considérable, on le compliqua comme à plaisir, sans chercher à étayer sur des bases scientifiques les conditions de son fonctionnement : chacun voulut en tirer parti pour en faire l'objet de nouveaux brevets susceptibles d'être exploités avec profit.

Cette course aux « patentes » amena forcément des mécomptes : des échecs furent signalés, et l'on vit bientôt des ingénieurs sanitaires éminents proclamer bruyamment la faillite des *procédés biologiques* que d'aucuns estimaient devoir supplanter tous les autres systèmes, y compris l'*épandage*.

La question en était là lorsqu'un « *consortium* » *de propriétaires et de communes*, riverains de trois rivières de la région du Nord, la *Deule*, la *Marque* et la *Lys*, effroyablement polluées par les villes et les industries avoisinantes, se préoccupa, concurremment avec l'Union des syndicats de pêcheurs à la ligne de France, d'organiser une campagne pour empêcher les déversements d'eaux résiduaires dans les cours d'eau [1].

[1] Le dévoué président du « *Consortium* » *du Nord*, M. Ory, propriétaire à Lambersart, près Lille, fut presque aussitôt élu président de l'Union des syndicats des pêcheurs à la ligne de France, et c'est en grande partie à ses

Et comme il ne suffisait pas de créer un mouvement d'opinion favorable et qu'il était avant tout indispensable de pouvoir indiquer aux intéressés comment il leur serait pratiquement possible de se débarrasser de leurs résidus, l'Institut Pasteur de Lille fut prié d'entreprendre l'étude des meilleurs systèmes d'épuration.

Des subsides importants, accordés par la *Caisse nationale des recherches scientifiques*, permirent d'aborder la solution du problème hors de nos laboratoires, dans une station expérimentale créée par nos soins près de Lille, sur le territoire du faubourg de la Madeleine, à l'embouchure d'un égout collectant à la fois des eaux-vannes ménagères et des eaux industrielles particulièrement difficiles à traiter.

C'est là que furent entrepris, à partir du 4 juillet 1904, les travaux qu'on trouvera condensés dans ce volume.

J'ai fait appel, pour les exécuter, au concours éclairé de mon collègue et ami, le professeur *Buisine*, directeur de l'École de chimie de la Faculté des sciences de Lille, et à celui de quelques-uns de mes collaborateurs immédiats à l'Institut Pasteur de Lille, particulièrement M. *Rolants* et MM. *Marmier*, *Boulanger*, *Constant* et *Massol*.

Qu'il me soit permis de les remercier de l'aide efficace et toujours dévouée qu'ils m'ont prêtée.

Je dois aussi un témoignage de très vive gratitude à M. *Le Noan*, conducteur des ponts et chaussées, qui a bien voulu contribuer à notre tâche commune en exécutant les plans de nos installations expérimentales de la Madeleine et en surveillant lui-même tous les détails de leur construction [1].

Grâce à tant de bonnes volontés au service de la même cause, nous espérons, mes collaborateurs et moi, avoir déjà

efforts personnels qu'est due l'intervention active des pouvoirs publics dans cette question de l'assainissement des rivières.

[1] Je tiens à remercier aussi mon élève M. Cavel, ingénieur civil, pour l'obligeance avec laquelle il s'est chargé de dessiner quelques-unes des planches schématiques de ce mémoire.

contribué avec quelque succès aux progrès de nos connaissances sur l'assainissement des villes et des industries.

Nous continuerons notre œuvre qui est encore loin d'être achevée, et nous nous efforcerons de justifier la confiance que le Conseil d'administration de la Caisse Nationale des Recherches scientifiques veut bien nous manifester en nous accordant les moyens de poursuivre nos travaux.

D[r] A. CALMETTE.

RECHERCHES
SUR
L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE
DES EAUX D'ÉGOUT

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT

Composition des eaux d'égout. — Eaux d'égout des villes et eaux résiduaires industrielles. — Principes de l'épuration par les procédés chimiques, l'irrigation agricole et la filtration intermittente.

Il importe, en premier lieu, de bien définir ce qu'il faut entendre par le terme *épuration* des eaux d'égout. Longtemps on a confondu l'*épuration* avec la *clarification*. Or, la *clarification* des eaux résiduaires, — comme celle des eaux potables, — se borne à séparer mécaniquement, ou à précipiter par des réactifs chimiques, les articules flottantes non dissoutes ou coagulables. Elle ne réalise pas une véritable *épuration*, car elle laisse intactes une partie ou la totalité des substances dissoutes, telles que les sucres, les amides, l'ammoniaque. Or, l'eau qui renferme une proportion plus ou moins considérable de ces substances est putrescible ; elle reste quelquefois nauséabonde ; elle pollue les cours d'eau et elle est nuisible à la vie des poissons et des plantes. On ne peut donc pas la considérer comme *épurée*.

Toutes les fois qu'on traite des eaux d'égout par la simple décantation ou par des réactifs divers : chaux, sulfate d'alumine, sulfate ferreux ou sulfate ferrique, chlorures ou hypochlorites alcalins, on fait de la *précipitation chimique* ; on débarrasse l'eau des matières albuminoïdes coagulables et des corps flottants, mais l'*épuration* reste incomplète.

Pour réaliser une *épuration* véritable, il faut que les matières organiques soient entièrement décomposées et ramenées à l'état de *matière minérale*, c'est-à-dire de nitrates ou d'azote libre, d'acide carbonique, d'hydrogène ou d'hydrocarbures gazeux et d'eau.

Les seuls agents capables d'effectuer cette désintégration moléculaire des substances organiques sont les *microbes* ou la *combustion directe par le feu*.

L'emploi du feu est impraticable, puisqu'il faudrait évaporer d'abord les eaux d'égout pour calciner ensuite leurs résidus secs et que la dépense de combustible qui en résulterait serait énorme.

On ne peut donc s'adresser qu'aux *microbes* qui sont les agents naturels de décomposition et de désagrégation de tous les détritus végétaux, des fumiers et des cadavres d'animaux que l'on enfouit dans la terre ou qui s'accumulent à la surface de celle-ci. Ce sont ces mêmes microbes qui réalisent d'ailleurs en grande partie l'épuration dite *spontanée* des rivières ou des fleuves auxquels l'homme confie le soin d'éloigner de lui les déchets de la vie.

C'est grâce à eux aussi que, dans les procédés de l'*épandage*, le sol cultivé transforme les souillures de toutes sortes qu'on déverse à sa surface, en éléments gazeux qui s'échappent dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, d'azote libre ou d'acide carbonique, et en nitrate de chaux qui sert d'aliments aux plantes.

Il était donc tout indiqué qu'à partir du moment où ce rôle des microbes nous fut révélé par la science, on cherchât à adapter ceux-ci plus directement à nos besoins de destruction rapide des résidus de nos agglomérations et de nos industries.

Et c'est ainsi qu'on a été amené à la découverte des procédés récents d'*épuration biologique*, sur lesquels l'attention des ingénieurs sanitaires et des hygiénistes du monde civilisé est aujourd'hui concentrée.

I. Composition des eaux d'égout. — Les eaux d'égout des villes contiennent en proportions extrêmement variables deux sortes de substances organiques :

1° Des substances *ternaires*, composées de *carbone*, d'*oxygène* et d'*hydrogène*, et dont les plus importantes sont les résidus cellulosiques de papier ou de végétaux, l'amidon, les dextrines et les sucres, les alcools, les acides organiques (lactique, malique, succinique, etc.), et les graisses ;

2° Des substances *quaternaires* composées elles aussi de *carbone*, d'*oxygène* et d'*hydrogène* et, en plus, d'*azote*, avec des proportions plus ou moins considérables d'autres corps minéraux simples tels que le soufre, le phosphore, l'arsenic, le fer, le manganèse, les métaux alcalins ou alcalino-terreux, etc. On les trouve dans les résidus animaux et dans une foule de détritus végétaux. Les principales sont la fibrine, les albumines, les caséines, la lécithine, l'urée, le gluten, etc.

La désintégration moléculaire des substances *ternaires* s'effectue surtout par des microbes anaérobies ou par des espèces microbiennes capables de vivre à l'abri de l'oxygène de l'air. Ces microbes empruntent alors l'oxygène dont ils ont besoin comme tous les êtres vivants, aux substances mêmes qu'ils décomposent, et cette décomposition aboutit à la formation d'hydrogène libre ou d'hydrogène carboné (gaz des marais), et d'acide carbonique.

Les substances *quaternaires*, abondantes surtout dans les résidus d'abattoirs, de laiteries, de tanneries, peuvent être désintégrées par une multitude d'espèces microbiennes anaérobies ou aérobies, c'est-à-dire capables de vivre et de se multiplier en l'absence ou en présence de l'air atmosphérique. Leur désintégration s'opère par une série d'étapes successives qui aboutit à la formation des peptones, de composés ammoniacaux et d'ammoniaque libre, puis de nitrites et de nitrates, avec élimination d'une proportion plus ou moins grande d'azote libre, d'hydrogène libre ou carboné et d'acide carbonique.

Outre ces substances organiques qui se trouvent *dissoutes* ou en *suspension* dans les eaux d'égout, celles-ci renferment une proportion également très variable de substances minérales (sable, charbon, argile, sels). Les quantités et la nature de ces corps présentent une importance considérable et doivent être déterminées aussi exactement que possible dans chaque cas particulier : les uns *insolubles*, peuvent être retenus

et enlevés au moyen de dispositifs mécaniques; les autres, *dissous*, sont susceptibles de favoriser ou de gêner les phénomènes biologiques de désintégration de la matière organique.

D'une manière générale, on trouve que les eaux de tout-à-l'égout des grandes villes comme Paris, contiennent environ, par litre, 1 gr. 25 de résidus solides constitués par 80 centigrammes de matières minérales et 45 centigrammes de matières organiques. Mais ces chiffres peuvent être notablement plus élevés : nous ne les donnons ici qu'à titre de simple indication.

Les *eaux résiduaires industrielles* ont le plus souvent une composition moyenne constante, mais leur degré élevé de souillure et la nature des substances organiques ou minérales qu'elles renferment et qui sont en rapport avec les industries qui les produisent, occasionnent ordinairement une pollution intense des rivières. Aussi la nécessité de les épurer s'impose-t-elle partout, mais les difficultés que présente cette épuration sont quelquefois si grandes et les procédés qu'on leur appliquait jusqu'à ces derniers temps se montraient si peu satisfaisants qu'on hésite à y avoir recours.

Beaucoup de personnes ont cru qu'il était possible de traiter les eaux résiduaires industrielles ou urbaines, quelle que fût leur provenance, par l'irrigation agricole ou par certains réactifs chimiques précipitants. Or, c'était là une grave erreur qui a procuré de nombreux mécomptes. On ne doit pas envisager le problème de l'épuration comme résolu par l'adoption d'un système *passe-partout*, uniformément applicable dans tous les cas à l'assainissement des villes ou des industries. Tel procédé, parfaitement efficace lorsqu'il s'adresse à des eaux-vannes de tout à l'égout, donnera des résultats médiocres ou mauvais s'il est inconsidérément appliqué à des eaux qui renferment en abondance certains résidus industriels

Tantôt il est avantageux, au point de vue économique, de confier aux actions microbiennes le soin de détruire la totalité des matières putrescibles contenues dans les eaux à épurer. Tantôt, lorsqu'il s'agit de résidus albuminoïdes très concen-

trés, par exemple, ou d'eaux industrielles contenant des acides organiques, des matières tinctoriales ou des corps minéraux trop abondants, on peut être obligé de recourir à l'emploi de réactifs chimiques précipitants, neutralisants ou oxydants.

Ailleurs, enfin, il peut arriver que l'on soit conduit à séparer des eaux-vannes, soit des matières grasses, soit des produits riches en azote, présentant une réelle valeur commerciale et susceptibles d'être vendus avec profit.

Donc, avant de faire choix d'un procédé, il faut d'abord établir par des analyses chimiques et des mensurations aussi exactes que possible, la *composition moyenne et les quantités d'eau* qu'on se propose de soumettre à l'épuration.

Disons cependant tout de suite que, lorsqu'il s'agit d'eaux-vannes ménagères ou du tout à l'égout, même mélangées d'une assez forte proportion de résidus d'usines telles que brasseries, tanneries, papeteries, ou de déchets d'abattoirs et de laiteries, il est tout indiqué d'adopter l'un des systèmes d'*épuration biologique* sur la description desquels nous nous étendrons tout à l'heure.

On réservera de préférence l'emploi des réactifs chimiques aux cas où la désintégration des matières par les microbes est impossible à réaliser.

II. **Inconvénients des procédés chimiques. — Boues.** — On ne doit pas se dissimuler en effet que l'utilisation pratique des boues qui résultent soit de la simple décantation mécanique, soit de la précipitation chimique, présente des difficultés considérables. Leur valeur comme engrais est très minime. Au début d'une exploitation de quelque importance, on parvient presque toujours à écouler ces résidus au voisinage des grandes villes. La culture les achète volontiers. Mais bientôt, celle-ci n'en ayant plus le placement immédiat, on est obligé de les céder à vil prix, puis de payer pour s'en défaire, parce qu'on ne peut les laisser s'accumuler, et qu'il est indispensable de les évacuer au loin. Les frais de transport deviennent alors beaucoup plus élevés que leur valeur propre.

Toutes les villes qui ont essayé l'application en grand des systèmes d'épuration chimique ont éprouvé ces vicissitudes et ces déboires. On ne saurait en être surpris si l'on veut bien

réfléchir à ce fait que partout, à l'heure actuelle, l'usage des engrais chimiques s'est largement répandu, et qu'il est facile aux cultivateurs éclairés de se procurer des engrais riches, dont 100 kilogrammes renferment une valeur de 16 à 12 francs d'azote, par exemple. Pourquoi ces mêmes cultivateurs s'aviseraient-ils alors de transporter à grands frais 2 ou 3000 kilogrammes de boues sèches, valant ensemble 10 à 12 francs, d'après leur teneur en azote, c'est-à-dire exactement ce qu'ils peuvent trouver dans 100 kilogrammes d'un engrais chimique de composition plus constante et répondant plus exactement à leurs besoins ?

Outre cet inconvénient si grave de l'encombrement des boues, les procédés chimiques en présentent d'autres également redoutables : ils obligent à des dépenses continuelles pour l'achat de réactifs ; et, pour que ceux-ci agissent efficacement, il est indispensable de varier leurs proportions dans l'eau à traiter, suivant les changements de composition que présente celle-ci. Dans les villes aussi bien que dans les industries, les eaux résiduaires subissent de larges oscillations dans leur volume, dans leur aspect et dans la nature des résidus qu'elles reçoivent. Il est facile de comprendre que les quantités de réactifs à mélanger doivent osciller parallèlement, si l'on veut que la précipitation s'effectue d'une manière satisfaisante. Et c'est là une difficulté quelquefois malaisée à vaincre.

Toutes ces considérations justifient la volonté des hygiénistes de chercher plutôt la solution du problème du côté des systèmes d'épuration exclusivement *biologiques*. Ceux-ci, du moins, visent à la suppression des boues (*no more sludge!* disent les Anglais) et à la suppression des réactifs, en même temps qu'ils réalisent une *épuration plus parfaite* par la désintégration totale des matières organiques, et non plus seulement la *précipitation* des matières en suspension ou des substances albuminoïdes coagulables.

III. Épandage et irrigation agricole. — Le prototype de ces systèmes biologiques est représenté par l'épandage avec ou sans utilisation agricole. C'est celui qu'on s'est résolu à adopter pour l'épuration des eaux d'égout de la ville de Paris,

à la suite des études entreprises depuis plus de 40 ans, en Angleterre d'abord par *Frankland*, puis en France par *Th. Schlœsing* et *Durand Claye*.

On doit surtout à trois éminents savants français, MM. *Berthelot*, *Th. Schlœsing* et *Muntz* la connaissance exacte des fonctions épuratrices du sol et du rôle des microbes qu'il renferme. C'est à ces microbes, dont la terre végétale recèle d'innombrables espèces, que la nature confie le soin de décomposer toutes les substances organiques végétales ou animales, résidus ou déchets des êtres vivants qui naissent, pullulent et meurent à sa surface. Ce sont eux aussi qui, dans la pratique de l'*épandage*, désintègrent et minéralisent la matière organique apportée par les eaux d'égout.

La puissance épurante du sol qui leur sert de support est en relation directe avec leur vitalité et leur nombre. Or, tous les sols ne sont pas également aptes à faciliter leur multiplication : ils ont besoin de beaucoup d'oxygène qu'ils empruntent à l'air et qui leur sert à oxyder la matière organique; il leur faut un milieu chimique neutre ou légèrement alcalin et ils craignent les températures trop basses.

Les sols argileux, compacts, imperméables à l'air et peu absorbants, ne sauraient leur convenir, non plus que les tourbières.

L'épandage n'est donc possible que sur les terrains poreux, profonds et bien drainés.

Pour que l'épuration s'effectue, il faut en outre que le sol *fixe la matière organique dissoute, comme un tissu fixe une teinture*, et qu'il ne se laisse pas traverser trop rapidement par l'eau. Le sable mélangé d'un peu d'argile, de calcaire ou d'humus est beaucoup meilleur à ce point de vue que le sable pur à grains fins.

D'autre part, les microbes nitrificateurs qui transforment l'ammoniaque en nitrates étant essentiellement aérobies, il importe de ne jamais noyer pendant plusieurs heures de suite les terrains d'épandage. L'air doit y pénétrer en même temps que l'eau. Il faut donc proportionner les quantités d'eau d'égout déversées, de manière à ne jamais entraver la pénétration de l'air, et il est indispensable de ne pratiquer l'irrigation que par intermittences, pour éviter le colmatage des

couches superficielles par les matières organiques non dissoutes, dont la décomposition est plus lente.

Les meilleurs terrains d'épandage, lorsqu'on y fait en même temps de la culture, ne peuvent absorber et épurer convenablement plus de 10 à 11 litres d'eau d'égout par mètre carré et par jour, ce qui correspond au chiffre adopté comme maximum par les décrets du 11 avril 1896 et du 30 mars 1899 pour la Ville de Paris (40 000 mètres cubes par hectare et par an).

A Berlin, les terrains d'irrigation, formés de sable argileux, reçoivent seulement un volume d'eau quatre fois moindre (12 000 mètres cubes par hectare et par an, ou 3 litres 29 par mètre carré et par jour).

Si l'on ne veut point être exposé à sacrifier trop souvent les intérêts de la culture, on doit considérer ce taux de 12 000 mètres cubes par hectare et par an comme ne devant pas être dépassé. Or, une ville de 20 000 habitants produisant en moyenne, à raison de 100 litres par habitant et par jour (en faisant abstraction des eaux de pluies), un volume quotidien de 2000 mètres cubes d'eau d'égout, doit pouvoir disposer, si elle veut faire de l'irrigation agricole, d'une surface de terrains culturaux d'au moins 60 *hectares*.

En supposant qu'une telle surface, suffisamment perméable, fût disponible à son voisinage, elle serait le plus souvent d'un prix trop élevé, d'autant qu'il faut encore tenir compte des frais d'aménagement, de drainage et d'entretien d'un réseau très étendu de canaux souterrains pour la distribution des eaux sur toutes les surfaces à irriguer.

On comprend donc que ce système, malgré ses résultats incontestablement excellents, n'ait pu être adopté que par de grandes capitales comme *Paris*, *Berlin*, ou par quelques villes comme *Reims*, *Breslau*, *Fribourg-en-Brisgau*, *Dantzig*, *Magdebourg*, *Odessa*, qui avaient à leurs portes de vastes terrains sablonneux ou calcaires, très absorbants et de peu de valeur.

Les villes de moindre importance, ou moins favorablement situées, sont dans l'impossibilité absolue d'y avoir recours.

D'autre part, il ne faut pas se dissimuler qu'on a commis une erreur en comptant, comme on l'a fait au début, sur le rôle épurant de la culture. On supposait que les plantes agissaient de deux manières en se développant : on pensait que la

pénétration de leurs racines rendait le sol plus perméable, ce qui est exact; mais on croyait aussi qu'elles pouvaient utiliser pour leur nutrition une grande partie des matières organiques de l'eau d'égout. Or, la science a montré, depuis les acquisitions récentes de la physiologie végétale et de la bactériologie, que les plantes n'assimilent pas les matières organiques azotées complexes. Il faut, pour que ces matières organiques servent d'aliments aux plantes, qu'elles soient préalablement *minéralisées* ou transformées en ammoniaque et en nitrates solubles par les actions microbiennes dues aux ferments figurés du sol. *Il y a donc tout avantage à réaliser cette transformation dans les eaux résiduaires, avant d'utiliser celles-ci pour l'irrigation.*

On a également commis une erreur en cherchant à développer l'utilisation de l'eau d'égout dans la culture maraîchère. Outre que les terrains consacrés à cette culture ne peuvent absorber qu'une très faible quantité d'eau pendant les mois d'été pour ne pas noyer les récoltes, il est manifestement contraire à l'hygiène d'épandre dans des sillons au voisinage de légumes destinés pour la plupart à être mangés crus (céleris, salades, raiforts, artichauts, etc.) des matières fécales non dissoutes, qui se décomposent lentement à l'air et favorisent la dissémination, par les vents et par les insectes ailés, de toutes sortes de vers, parasites intestinaux (trichocéphales, ascaris, oxyures, etc.) ou bacilles pathogènes.

L'expérience ne prouve pas, il est vrai, que les habitants de Gennevilliers soient plus particulièrement frappés par les maladies contagieuses, depuis que les champs d'épandage existent, mais rien ne démontre qu'ils n'en souffriraient pas cruellement si quelques cas de choléra, par exemple, survenaient un jour à Paris, et rien ne prouve surtout que les légumes apportés aux halles ne contribueraient pas à diffuser rapidement une épidémie de cette nature.

On pourrait d'abord ne tolérer l'épandage des eaux d'égout que sur des prairies naturelles ou artificielles, ou sur des cultures fourragères qui permettent une large irrigation. Mais, comme il est vraisemblable que l'alimentation du bétail par des fourrages récoltés dans ces conditions présente aussi certains risques (tels que la propagation de la fièvre charbon-

neuse, du tétanos ou de diverses épizooties), il est encore préférable d'y renoncer et de se résoudre à pratiquer tout simplement l'épuration par épandage intermittent sur sol *non cultivé*.

IV. **Filtration intermittente.** — Les essais poursuivis depuis 1888 à la station d'expériences de Lawrence (Massachussets, États-Unis) ont montré qu'il est possible d'obtenir par ce système des résultats excellents et qu'on peut épurer sur une même surface un volume beaucoup plus considérable d'eau d'égout.

En déversant l'eau, par intermittences soigneusement réglées, sur des lits de sable à gros grains, profonds d'environ deux mètres, et riches en microbes nitrificateurs, on parvient à brûler sur une surface d'un hectare, presque toute la matière organique contenue dans 1550 mètres cubes d'eau d'égout par jour, ce qui correspond à 155 litres par mètre carré ou à une couche d'eau de 155 millimètres.

Le sol sableux du Massachussets se prête admirablement à l'emploi de cette méthode de filtration intermittente, telle que l'avait préconisée *Frankland* dès 1870. Malheureusement elle ne peut pas être appliquée partout : elle nécessite des surfaces encore trop considérables (environ 1 hectare pour 2000 habitants) et l'accumulation plus ou moins rapide des boues sur les lits de sable rend indispensables de fréquents râclages ou hersages et des périodes souvent longues de repos permettant l'aération du sable dans toute sa masse.

Plusieurs villes américaines ont trouvé avantageux de combiner la filtration intermittente et l'utilisation agricole. La ville de *Brochton*, par exemple, qui compte 40 000 habitants et produit 5 600 mètres cubes d'eau d'égout par jour, évacue celle-ci par un canal dans un bassin collecteur couvert, de 2 000 mètres cubes de capacité, à l'entrée duquel on enlève à l'aide de peignes mécaniques toutes les grosses impuretés. De ce bassin collecteur, les eaux sont envoyées par deux pompes aux lits filtrants qui occupent une superficie de 8 hectares 7 ares et qui sont éloignés de toute habitation. Les lits filtrants sont au nombre de 25 et remplis de sable, (dont les grains ont de $0^{mm},04$ à $0^{mm},75$ de diamètre), sur une moyenne de $2^{m},50$

de profondeur. L'arrivée de l'eau sur chaque filtre dure environ 30 minutes. Quatre filtres sont spécialement affectés aux eaux qui se sont accumulées pendant la nuit dans les tuyaux et qui sont très riches en sédiments. On les nettoie après vingt remplissages et on enlève de leur surface 1 700 tonnes de boues par an. Celles-ci sont vendues aux agriculteurs.

Les autres filtres ont rarement besoin d'être labourés : on se contente d'enlever les herbes qui y croissent. Quelques-uns d'entre eux sont ensemencés chaque année avec du maïs qui paraît être la culture la mieux appropriée. En automne, on dispose la surface des lits en sillons, de sorte que la neige et la glace restent en hiver dans les sillons, tandis que l'eau se répartit au-dessus. La moyenne de température annuelle des eaux est de 10 à 12°. Par les froids les plus rigoureux, on a encore 7 à 8°. On ne peut épurer par jour que 30 litres environ par mètre carré. Les eaux brutes sont très impures : elles renferment en moyenne 70 milligrammes d'ammoniaque par litre, et, après filtration, elles n'en contiennent plus que 2 milligrammes. Le coefficient de l'épuration est de 98 pour 100. Les dépenses de première installation se sont élevés à 1 062 000 francs et les frais d'exploitation annuels sont de 19 000 francs.

V. **Coût de l'épuration des eaux d'égout.** — D'une manière générale, on peut établir que le traitement des eaux d'égoùt par épandage avec utilisation agricole nécessite une dépense annuelle moyenne d'environ 2 francs par an et par habitant, y compris l'amortissement des frais de première installation. (Le calcul effectué pour 15 villes anglaises donne exactement 2 fr. 14 par habitant et par an.)

L'épuration chimique entraîne des frais encore plus élevés : 2 fr. 25 par habitant et par an (moyenne de 5 grandes villes anglaises).

Au point de vue économique comme au point de vue de la perfection des résultats, il est donc manifeste que l'épandage agricole et, plus encore, la filtration intermittente sur sol perméable *non cultivé*, présentent une supériorité considérable sur tous les systèmes d'épuration chimique actuellement connus.

Nous allons voir cependant, par les études qui vont suivre, qu'une solution plus économique et plus pratique, parce qu'elle est applicable partout, s'offre à nous par l'adoption des nouveaux procédés d'épuration exclusivement *biologiques*.

Ces procédés, nous l'avons déjà dit, s'appuient sur les acquisitions récentes de la science relatives aux phénomènes de putréfaction et aux fonctions des microbes du sol arable comme agents de désintégration des matières organiques.

En précisant les conditions nécessaires à la vie des microbes capables, d'une part, de solubiliser les substances ternaires et quaternaires complexes que charrient les eaux d'égout et, d'autre part, d'en disloquer les molécules pour les ramener à l'état d'éléments minéraux simples, on devait théoriquement réaliser la destruction complète de tous les détritus humains, animaux et végétaux.

On pouvait donc concevoir un système idéal d'assainissement qui supprimerait les accumulations de boues encombrantes laissées par la précipitation chimique et qui permettrait de ne rendre au sol arable, aux rivières et aux fleuves, que des eaux parfaitement limpides et imputrescibles, immédiatement utilisables, s'il le fallait, pour les besoins alimentaires, agricoles ou industriels de l'homme.

Les expériences poursuivies depuis dix ans à la suite des importantes démonstrations faites par *Dibdin*, *sir Henry Roscoe*, *Percy Frankland*, *Gilbert Fowler*, en Angleterre, par *Dunbar* en Allemagne, par *Hiram Mills* et *Kinnicut* en Amérique, par nous-même en France, ont forcé l'attention des ingénieurs sanitaires de tous les pays.

Il ne reste plus désormais qu'à élucider certains points de détails, à préciser les conditions d'application des différents systèmes proposés, et à fournir aux administrations municipales les renseignements d'ordre technique dont elles ont besoin pour être en mesure de réaliser, sans plus tarder, les mesures d'assainissement qui leur sont imposées par la législation sur la protection des cours d'eau et par la loi sanitaire du 15 février 1902.

CHAPITRE II

PRINCIPES DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ARTIFICIELLE

Fermentation en fosses septiques. — Lits bactériens de contact. — Plans et description de la station expérimentale de la Madeleine.

Le principe de tous les systèmes d'épuration biologique artificielle consiste à utiliser exclusivement les actions microbiennes pour *dissoudre* les matières organiques que renferment les eaux d'égout et pour les décomposer jusqu'à ce qu'elles soient ramenées à l'état d'éléments minéraux (nitrates, acide carbonique, hydrogène, formène, eau, azote gazeux).

Le processus d'épuration est donc exactement le même que dans l'épandage agricole ou que dans la filtration intermittente sur sol perméable non cultivé. Dans l'un et les autres cas, les mêmes microbes interviennent. La seule différence, et elle est capitale, consiste en ce fait que, dans l'épuration biologique artificielle, on accélère, on règle et on série à volonté le travail des microbes, tandis que dans l'épandage agricole ou dans la filtration intermittente, les phénomènes s'accomplissent au gré des conditions locales atmosphériques et géologiques.

On peut très exactement comparer ces phénomènes à ceux que l'on observe dans la fabrication de la bière, par exemple. Certains brasseurs, particulièrement en Belgique, laissent fermenter *spontanément* leurs moûts dans les tonneaux, sans y ajouter de levûre. La transformation du maltose en alcool s'effectue alors avec une grande lenteur, et une partie de ce maltose ou de l'alcool formé se change en acide lactique ou en vinaigre, sans qu'on puisse empêcher cette mauvaise utilisation de la matière première.

Le plus grand nombre des brasseurs, au contraire, trouve plus avantageux d'ensemencer immédiatement des levûres alcooliques dans leurs moûts : ils achèvent ainsi la fermentation en un temps beaucoup plus court; ils utilisent mieux leur matière première et obtiennent des produits de qualité plus parfaite.

L'épuration biologique artificielle présente les mêmes avantages : elle permet d'épurer dans un temps très court, et sur des surfaces très réduites, une quantité d'eaux d'égout infiniment plus considérable, avec des résultats au moins aussi satisfaisants.

On peut s'en faire immédiatement une idée en comparant respectivement les volumes d'eaux d'égout traités dans les champs d'épandage de Berlin (3 litres par mètre carré de surface et par jour) ou dans ceux d'Achères pour Paris (11 litres par mètre carré et par jour), avec ceux que l'on épure sur les *lits bactériens* de Manchester (1 mètre cube par mètre carré et par jour), soit 333 fois ou 90 fois plus, et 8 fois plus que dans la filtration intermittente sur sol perméable non cultivé!

De tels chiffres indiquent suffisamment l'intérêt que présente le problème, alors même qu'on n'envisagerait que le seul point de vue économique !

I. **Phases de l'épuration biologique.** — L'épuration biologique artificielle des eaux d'égout comprend quatre phases bien distinctes :

1° La séparation des résidus solides *non putrescibles* (sable, gravier, scories, charbon, débris de fer, de pierres, etc.).

2° La *dissolution* des matières organiques par fermentation anaérobie, et leur gazéification partielle.

3° La fixation de ces matières organiques dissoutes sur des substances capables de servir en même temps de supports aux microbes oxydants aérobies.

4° La transformation, par les microbes, des matières azotées dissoutes et fixées, en *nitrites* puis en *nitrates* solubles, et des matières ternaires en produits gazeux et en eau.

Dans la première phase, purement mécanique, les microbes ne jouent aucun rôle.

L'épuration proprement dite ne commence qu'à la seconde

phase qui consiste à recevoir l'eau, débarrassée des corps minéraux non putrescibles, dans des bassins disposés en vue d'y permettre la pullulation rapide et abondante des ferments anaérobies. Les matières organiques putrescibles doivent y séjourner pendant un temps suffisant pour que leur dissolution complète s'effectue : les substances ternaires ou hydrocarbonées s'y décomposent en carbures d'hydrogène (formène), en acide carbonique et en eau. Les substances quaternaires ou azotées s'y désintègrent en peptones, en composés amidés solubles et en ammoniaque.

Au sortir de ces bassins, l'eau ne contenant plus de matières solides en suspension, est dirigée sur ce qu'on appelle les *lits d'oxydation* ou *lits bactériens*. Ceux-ci, généralement constitués par une couche plus ou moins épaisse de scories ou machefer, ou de coke, ou de briques concassées, doivent être alternativement immergés ou aérés dans toute leur masse. Pendant les périodes d'immersion, les fragments de scories ou de coke fixent la matière organique dissoute et cette troisième phase de l'épuration représente exactement un phénomène de teinture.

Pendant les périodes d'aération qui suivent les précédentes, les microbes, dont la multiplication s'effectue très activement dans les anfractuosités des scories ou du coke, oxydent et nitrifient la matière organique fixée sur leurs supports, grâce à l'oxygène qu'ils empruntent à l'air atmosphérique. Cette quatrième phase de l'épuration termine le cycle. L'eau sort des lits, débarrassée de toute substance putrescible, et définitivement épurée.

Certains dispositifs permettent d'accomplir simultanément les deux dernières phases : nous les trouverons réalisés dans les systèmes d'épuration dite *continue*.

Dans le système *intermittent*, connu sous le nom de *procédé de contact*, qui a fait l'objet de nos premières études, les deux phases restent, au contraire, nettement séparées.

Nous le décrirons tout d'abord.

II. Plans et description de la station expérimentale de la Madeleine. — Les recherches que nous nous proposions d'entreprendre devaient porter, en premier lieu, sur les pro-

cédés d'épuration applicables aux villes de quelque importance.

Nous avons donc résolu de commencer nos expériences sur une eau d'égout particulièrement difficile à épurer à cause de sa concentration, de sa composition extrêmement variable et de sa teneur élevée en résidus industriels de toutes sortes (brasseries, teintureries, filatures, usines métallurgiques). Nous avons arrêté notre choix sur l'égout collecteur de la Madeleine, qui se déverse aux portes de Lille, dans la Basse-Deûle, et dont le débit moyen oscille entre 500 et 700 mètres cubes par vingt-quatre heures, en temps sec.

Nous avons donc loué, sur la rive droite de la Basse-Deûle, un terrain de 1500 mètres de superficie, surélevé d'environ 1 m. 90 au-dessus du niveau supérieur de la rivière, et nous avons dérivé vers l'angle le plus élevé de ce terrain, la presque totalité de l'égout collecteur dont il s'agit.

L'espace dont nous disposions ainsi nous a permis d'aménager toute une installation d'expériences pour l'épuration biologique, chimique ou chimico-bactérienne d'un volume d'eau d'égout tel qu'on ne puisse plus objecter qu'il s'agit là de simples essais de laboratoire.

Nous y trouvions, en outre, la possibilité d'expérimenter simultanément ou successivement, sur la même eau d'égout, tous les systèmes d'épuration qu'il était intéressant ou utile de mettre à l'étude.

Les plans de cette installation d'expériences comprennent :

1° Deux fosses septiques de 250 mètres cubes de capacité chacune, l'une ouverte à l'air libre, l'autre couverte;

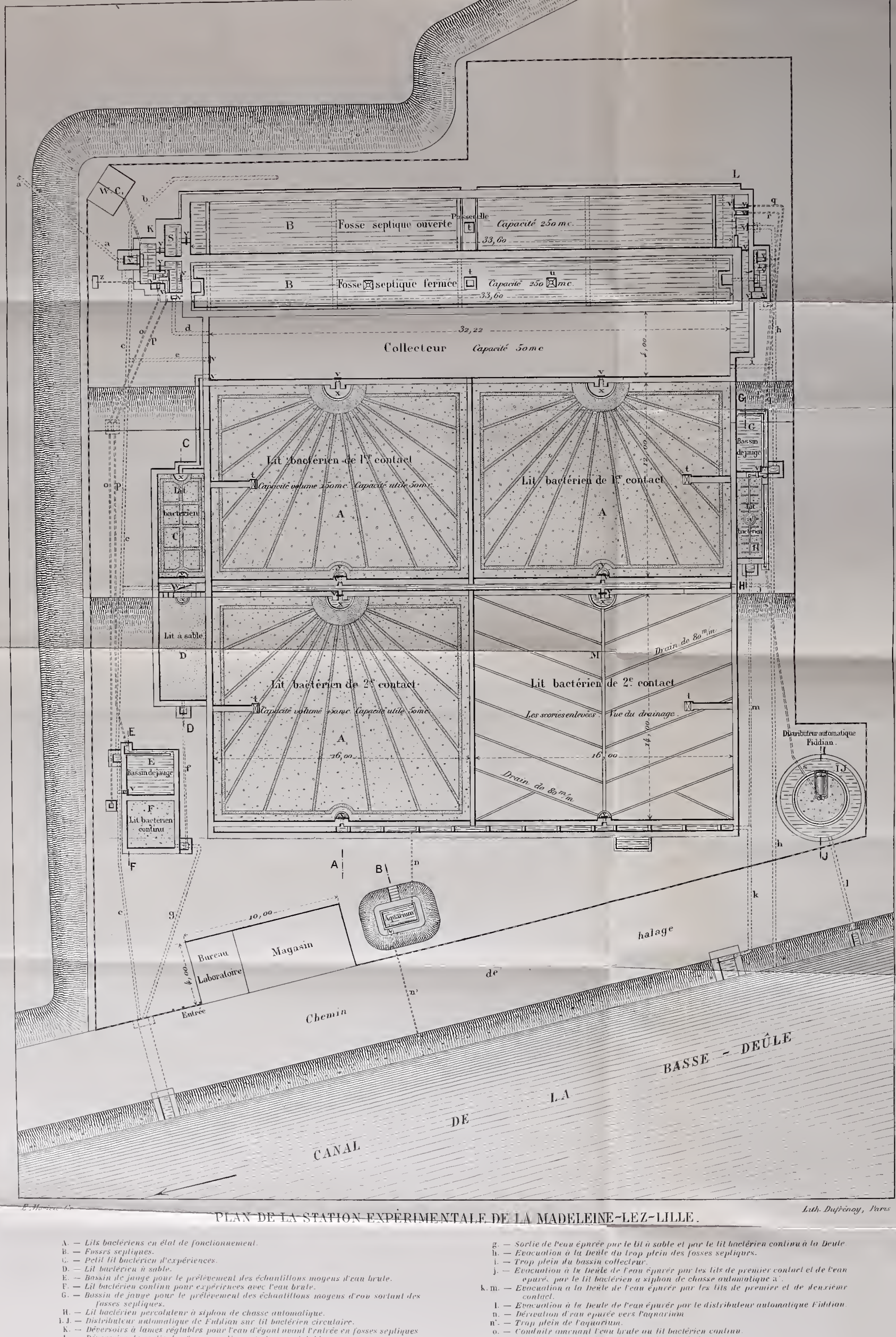
2° Quatre lits bactériens de contact, pouvant recevoir chacun 68 mètres cubes d'eau à chaque remplissage;

3° Plusieurs petits lits bactériens pourvus de dispositifs mécaniques pour la distribution automatique de l'eau à épurer;

4° Une usine pour les essais d'épuration chimique, avec bassins de décantation et force motrice pour élever l'eau;

5° Enfin, des bassins de jauge, un laboratoire et des appareils enregistreurs de débit et de températures.

A. *Fosses septiques* (planches I et II). — Le canal d'amenée *a*, branché sur l'égout collecteur de la Madeleine, débouche

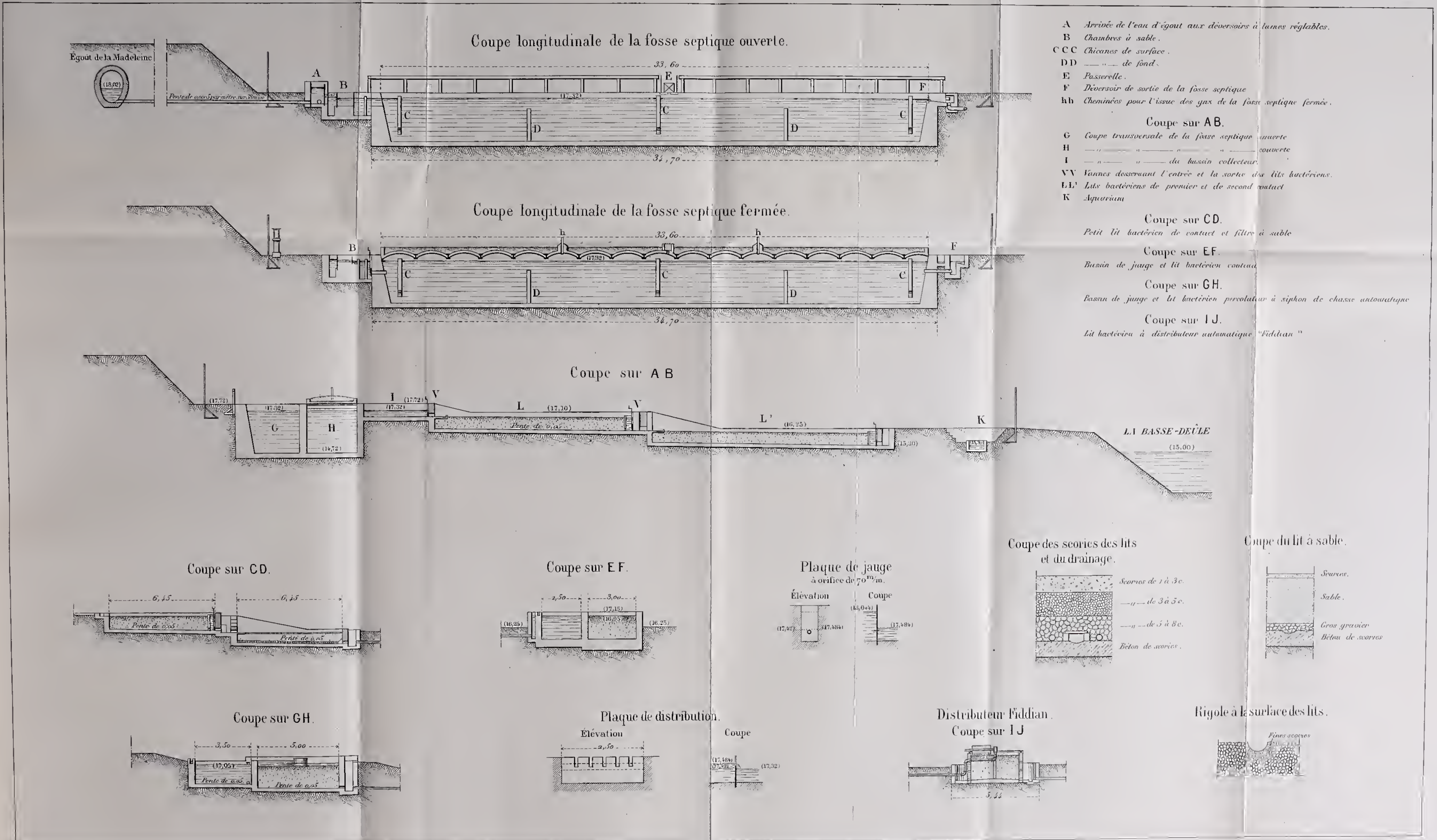


E. Morieu Sc.

Lith. Dufrénoy, Paris

PLAN DE LA STATION EXPÉRIMENTALE DE LA MADELEINE-LEZ-LILLE.

- A. — *Lits bactériens en état de fonctionnement.*
- B. — *Fosses septiques.*
- C. — *Petit lit bactérien d'expériences.*
- D. — *Lit bactérien à sable.*
- E. — *Bassin de jauge pour le prélèvement des échantillons moyens d'eau brute.*
- F. — *Lit bactérien continu pour expériences avec l'eau brute.*
- G. — *Bassin de jauge pour le prélèvement des échantillons moyens d'eau sortant des fosses septiques.*
- H. — *Lit bactérien percolateur à siphon de chasse automatique.*
- I. J. — *Distributeur automatique de Fiddian sur lit bactérien circulaire.*
- K. — *Déversoirs à lames réglables pour l'eau d'égout avant l'entrée en fosses septiques*
- L. — *Déversoirs de sortie des fosses septiques (à lames réglables).*
- M. — *Forme de lit bactérien montrant la disposition du drainage.*
- S. — *Chambres à sable.*
- a. — *Dérivation de l'égout collecteur de la Madeleine allant aux fosses septiques.*
- b. — *Dérivation vers les bassins d'épuration chimique.*
- c. — *Dérivation de trop plein allant au canal de la Basse Deûle.*
- d. — *Dérivation permettant de conduire l'eau brute directement au bassin collecteur.*
- e. — *Dérivation de trop plein du collecteur vers le canal.*
- f. — *Déversement de l'eau épurée par le lit à sable.*
- g. — *Sortie de l'eau épurée par le lit à sable et par le lit bactérien continu à la Deûle.*
- h. — *Évacuation à la Deûle du trop plein des fosses septiques.*
- i. — *Trop plein du bassin collecteur.*
- j. — *Évacuation à la Deûle de l'eau épurée par les lits de premier contact et de l'eau épurée par le lit bactérien à siphon de chasse automatique x'.*
- k. m. — *Évacuation à la Deûle de l'eau épurée par les lits de premier et de deuxième contact.*
- l. — *Évacuation à la Deûle de l'eau épurée par le distributeur automatique Fiddian.*
- n. — *Dérivation d'eau épurée vers l'aquarium*
- n'. — *Trop plein de l'aquarium.*
- o. — *Conduite amenant l'eau brute au lit bactérien continu.*
- p. — *Conduite amenant l'eau brute au bassin de jauge.*
- q. — *Conduite amenant l'eau des fosses septiques au lit bactérien à siphon percolateur.*
- r. — *Conduite amenant l'eau des fosses septiques au bassin de jauge.*
- s. — *Conduite amenant l'eau des fosses septiques au distributeur rotatif Fiddian.*
- t. — *Thermomètres enregistreurs plongeant dans les fosses septiques et dans les lits bactériens.*
- u. — *Cheminées servant à l'échappement des gaz de la fosse septique fermée.*
- v. — *Vannes.*
- x. — *Déversoirs en éventails pour étaler l'eau à la surface des lits bactériens.*



E. Morieu, Gr. — Lith. Dufrénoy, Paris.

STATION EXPÉRIMENTALE DE LA MADELEINE-LEZ-LILLE.

bien entendu, aucun rôle dans l'épuration : ils ont seulement pour objet de permettre l'étude aussi exacte que possible des phénomènes qui se produiront ultérieurement.

Ils facilitent la prise des échantillons moyens d'eau brute, et l'analyse de ceux-ci fournira les éléments d'appréciation du travail produit par les fosses septiques.

Au sortir des déversoirs, l'eau passe en deux lames d'égal débit dans deux *chambres à sable* SS de deux mètres cubes de capacité chacune. Le courant s'amortit contre une cloison incomplète (en chicane) et dépose aussitôt les corps lourds qu'il avait entraînés jusque-là. Chaque semaine, avec une drague à main, on enlève de ces chambres à sable 8 à 30 kilogrammes de sables, graviers, scories, charbon, débris métalliques et autres substances imputrescibles, qu'il est essentiel de ne point laisser tomber dans les fosses septiques : elles finiraient, à la longue, par diminuer la capacité volumétrique de ces dernières, au détriment de l'épuration.

Ainsi débarrassées de la majeure partie des corps minéraux en suspension, l'eau s'achemine par deux fentes et toujours en volume égal, moitié dans la fosse septique ouverte, moitié dans la fosse couverte. L'une et l'autre ont la même surface (99 mètres carrés), la même longueur (33 mètres), la même profondeur ($2^{m},61$), et la même capacité ($250^{m^3},500$).

Les deux fosses sont pourvues de cloisons incomplètes ou *chicanes*; les unes — représentées dans la figure par des traits pleins, — émergent de la surface et plongent jusqu'à 60 centimètres du fond ; les autres — représentées en traits pointillés — partent du fond et ne s'élèvent que jusqu'à 60 centimètres de la surface (planche I et fig. 2).

La fosse ouverte porte en son milieu une passerelle avec un thermomètre enregistreur à longue tige plongeant dans l'eau à 2 mètres de profondeur.

La fosse couverte est entièrement à l'abri de l'air extérieur : un revêtement en ciment armé portant une couche de terre végétale de 30 centimètres d'épaisseur, semée de gazon et plantée d'arbustes, la protège efficacement contre l'action du froid. Ce revêtement est percé de trois ouvertures, l'une au milieu pour un thermomètre enregistreur plongeant, les deux autres pour permettre l'échappement et l'analyse des



Fig. 2. — Fosses septiques de la station expérimentale de la Madeleine.
A gauche, fosse ouverte ; à droite, sous la plantation d'arbustes, fosse couverte. — Sur le premier plan au bas de la figure : chambres à sable.

gaz produits par la fermentation anaérobie de l'eau d'égout.

A l'extrémité droite de chacune des fosses se trouve une chicane de surface, plongeant seulement à 60 centimètres et destinée à retenir les parcelles de matière en suspension que le courant aurait pu entraîner jusque-là. Immédiatement après, un déversoir très large laisse échapper les eaux ne contenant plus que des matières organiques dissoutes. Ce déversoir est divisé en deux lames d'inégale largeur : la plus étroite permet de diriger *un centième* du débit total, vers un bassin de jauge de 6 mètres cubes de capacité, où s'effectuent les prises d'échantillons moyens destinés à l'analyse chimique.

Grâce à ce bassin de jauge et à celui qui reçoit 1/50 de l'eau brute apportée par l'égout, nous pouvons nous rendre un compte exact de ce qui se passe dans les fosses septiques, et établir le bilan du travail fourni par les fermentations anaérobies, soit à l'air libre, soit à l'abri de l'air.

Le liquide sortant des fosses septiques peut être dirigé à volonté, soit dans un bassin collecteur de 50 mètres cubes de capacité (longueur 32^{m},22, largeur 4 mètres, profondeur 40 centimètres), permettant son déversement dans l'un ou l'autre des lits bactériens de premier contact, soit vers les petits lits réservés aux expériences d'épuration continue dont nous ne parlerons qu'ultérieurement.

B. *Lits bactériens de contact.* — Nos lits bactériens de contact, au nombre de quatre, sont disposés par paires en deux étages. Les deux lits de premier contact, immédiatement contigus au bassin collecteur, ont chacun 192 mètres carrés de surface, 80 centimètres de profondeur et une capacité volumétrique de 152 mètres cubes (planche I).

Ils sont constitués par deux bassins rectangulaires à murs en pisé de scories (200 kilogrammes de chaux hydraulique par mètre cube de scories) sur 1 mètre de hauteur à partir du fond. La *sole*, en béton de scories, est légèrement inclinée avec une pente de 2 centimètres par mètre dans le sens d'écoulement de l'eau. Elle porte un drainage en tuyaux de poteries non rejointoyés et rangés en forme d'arête de poisson (fig. 5).

Chaque bassin est rempli de scories ou machefer criblé à



Fig. 5. — Construction des lits bactériens de la station expérimentale de la Madeleine. Disposition du drainage au fond d'un lit.

trois dimensions : la couche immédiatement en contact avec le drainage est formée, sur 30 centimètres d'épaisseur de morceaux triés de 5 à 10 centimètres de diamètre. Au-dessus, sur 25 centimètres d'épaisseur, les fragments ont de 2 à 5 centimètres de diamètre et, à la surface, sur 25 centimètres d'épaisseur également, on a étalé une couche de grains fins de 5 millimètres à 2 centimètres de diamètre, bien débarrassés de poussières.

Le volume ainsi occupé par les scories dans chaque bassin est d'environ les 2/3 de la capacité volumétrique, soit exactement 155 mètres cubes. Leur capacité utile pour l'eau n'est donc plus que de 69 mètres cubes, en admettant qu'on les submerge entièrement.

La surface de chaque lit est sillonnée de rigoles rayonnantes à partir du point de déversement de l'eau et creusée directement dans les scories sur environ 10 centimètres de profondeur (fig. 4).

L'eau provenant du bassin collecteur est admise à la surface du lit lorsqu'on ouvre la vanne d'entrée correspondante. En avant de celle-ci, un déversoir en éventail, portant un rebord percé de trous plus étroits au milieu que sur les côtés, assure la répartition aussi égale et rapide que possible de l'eau dans les rigoles sur toute leur longueur (fig. 5).

Les dimensions de la vanne et le nombre des rigoles sont calculés de manière à permettre le remplissage du lit en 1 heure au plus. A chaque remplissage, chaque lit reçoit environ 67 mètres cubes d'eau sortant de l'une ou l'autre fosse septique et préalablement emmagasinés dans le bassin collecteur.

Les deux lits de second contact sont exactement construits et disposés comme les précédents, en avant et en contre-bas, de telle manière que l'eau puisse être évacuée par une vanne des premiers sur les seconds.

Faute d'une dénivellation suffisante, nous avons dû donner à ces lits de deuxième contact un peu moins de profondeur (70 centimètres) et un peu plus de surface (224 mètres carrés) ; leur capacité volumétrique est de 156 mètres cubes.

Leur évacuation est assurée par une vanne de sortie qui permet la vidange totale de chaque lit en une heure. L'eau



Fig. 4. — Vue générale des lits bactériens de premier et de second contact à la station expérimentale de la Madeleine.

épurée s'écoule dans un canal tapissé de carreaux de céramique, et se déverse dans la Deûle, après avoir alimenté un bassin dans lequel nous élevons des poissons (cyprins dorés) et diverses plantes aquatiques.

Ces dispositifs nous ont permis d'effectuer nos expériences en variant à notre gré les durées de contact de l'eau à épurer sur chaque lit bactérien. Les vannes d'entrée et de sortie se manœuvrent à la main. Nous avons pu faire ainsi successivement 1, 2, 3 et 4 contacts par vingt-quatre heures, c'est-à-dire que chaque lit était alternativement rempli, puis vidé, aéré dans toute sa masse et rempli de nouveau de une à quatre fois par jour, l'eau restant pendant des laps de temps variables *en contact* avec les scories et avec les microbes auxquelles les anfractuosités de celles-ci servent de supports.

Toute cette installation d'épuration bactérienne par *lits de contact* ayant été mise en service le 8 juillet 1904, les résultats consignés dans le présent travail se rapportent à une année entière de fonctionnement ininterrompu.

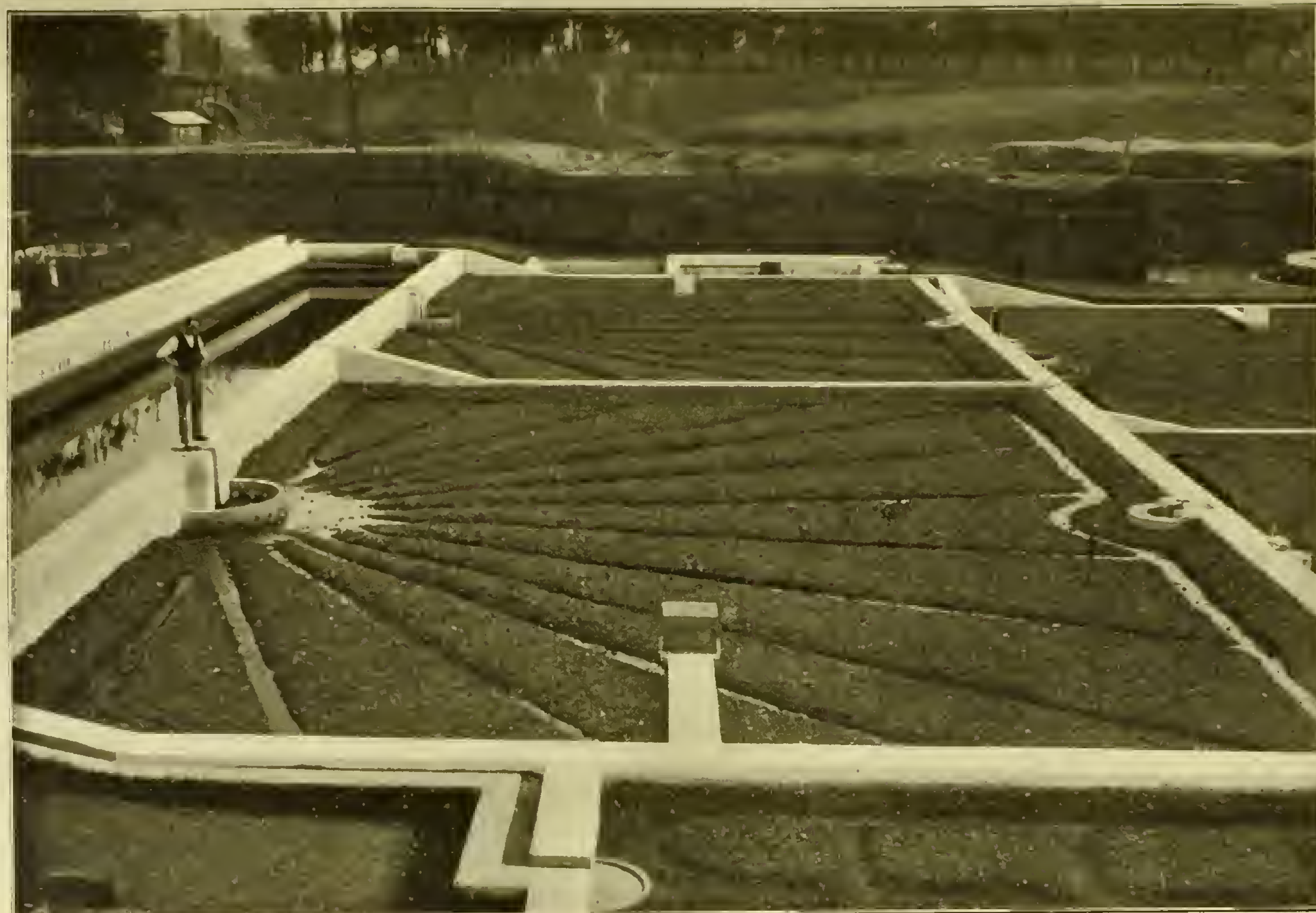


Fig. 5. — Lit bactérien de premier contact en période de remplissage à la station expérimentale de la Madeleine.

CHAPITRE III

TRAVAIL DES FOSSES SEPTIQUES. — SOLUBILISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES EN SUSPENSION DANS L'EAU D'ÉGOUT

Ces préliminaires descriptifs étant établis, nous allons suivre méthodiquement les diverses phases de l'épuration et nous devons commencer notre étude par les phénomènes qui se passent dans les fosses septiques.

Nous avons déjà expliqué que la composition de l'eau charriée par l'égout collecteur de la Madeleine était extrêmement variable en raison du grand nombre d'industries différentes que cet égout dessert, et aussi parce qu'il reçoit des eaux pluviales en même temps que les résidus ménagers d'une importante agglomération.

Nous pouvons cependant calculer avec une approximation suffisante, d'après les moyennes de nos analyses, les quantités totales de matières en suspension et de matières dissoutes minérales ou organiques, qui entrent journellement dans nos bassins.

Ces quantités sont :

		Par litre.
Matières organiques	en suspension	0gr,560
	en solution	0gr,460
Matières minérales	en suspension	0gr,670
	en solution	0gr,750

Soit, au total, pour 500 mètres cubes d'eau d'égoût par jour, répartis en deux fosses septiques de 250 mètres cubes de capacité chacune :

		Par jour.
Matières organiques	en suspension	280 kg.
	en solution	250 kg.
	Total	510 kg.

Matières minérales. . . .	en suspension	335 kg.
	en solution.	375 kg.
	Total.	710 kg.

Or, nos deux fosses septiques ont été mises simultanément en service le 4 juillet 1904. Elles n'ont jamais été vidées ni nettoyées depuis cette époque et, après une année complète de fonctionnement, le volume des boues qui s'y est accumulé est si faible que nous n'avons pas éprouvé encore le besoin de les enlever.

L'épaisseur du dépôt, dans le compartiment d'entrée jusqu'à la première chicane de fond, atteint en moyenne $0^m,20$. Le deuxième compartiment en renferme $0^m,05$ environ et le troisième, près du déversoir, en contient à peu près autant que le premier.

L'analyse de ces boues prélevées au fond et séchées à 100 degrés fournit les chiffres suivants :

Matières organiques	33,8 pour 100	
dont matières grasses.		5,566
dont azote.		1,424
Matières minérales.	66,2	—

D'autre part, les boues extraites chaque semaine des chambres à sable, à l'entrée des fosses septiques, *pendant* 12 *mois*, se sont élevées à un total de 3851 kilogrammes à l'état humide, laissant après dessiccation 1528 kilogrammes de résidu dont la composition moyenne était :

Matières organiques.	33,6 pour 100	
dont matières grasses.		2,96
dont azote.		0,79
Matières minérales	66,4	—

A la surface des fosses septiques s'accumulent en quantités très variables des amas de boues légères formant une croûte flottante, plus ou moins épaisse, que les vents et les grandes pluies disloquent fréquemment dans la fosse ouverte. L'épaisseur de cette couche par les temps calmes atteint parfois $0^m,6$ dans le premier compartiment. Elle s'amincit de plus en plus et disparaît à peu près totalement dans le dernier compartiment, aux environs du déversoir de sortie.

Ces boues flottantes sont surtout constituées par les graisses des eaux-vannes. Elles fournissent à l'analyse les chiffres moyens suivants :

Matières organiques	48,0 pour 100		
dont	matières grasses		15,44
	azote		2,01
Matières minérales	52,0 —		

Il est très remarquable de voir avec quelle extraordinaire facilité les matières les plus disparates et en apparence les plus résistantes, se désintègrent et se dissolvent dans les fosses septiques, aussitôt que les fermentations y sont bien établies, c'est-à-dire un mois environ après la mise en route. A partir de ce moment, le levain de ferments anaérobies est si actif que les cadavres de rats ou d'oiseaux qui franchissent aisément les grilles d'entrée, les papiers, les débris végétaux et les bouchons eux-mêmes disparaissent en quelques jours.

Cette dissolution rapide de corps assez volumineux est un sujet d'étonnement réel pour les personnes non prévenues.

En somme, nos fosses septiques ont reçu et dissous en douze mois par les seules actions microbiennes, 102 *tonnes de matières organiques*, apportées en état de suspension par les eaux d'égout, soit 280 *kilogrammes par jour* (500 mètres cubes à raison de $0^{gr},560$ par litre). Et puisque le volume des boues, c'est-à-dire de matières *non dissoutes* accumulées au fond des fosses n'augmente qu'avec une extrême lenteur, il faut en conclure que, à partir du moment où la fermentation anaérobie est bien établie (un mois environ après la mise en marche), la somme des matières qui se dissolvent en vingt-quatre heures correspond à peu près à la somme des matières qui se trouvent en suspension dans les eaux d'égoût, déduction faite de celles que retiennent les grilles et les chambres à sable.

Il importait au plus haut point d'étudier avec toute la précision possible, au point de vue chimique, les phénomènes qui se passent dans les fosses septiques. Les résultats de cette étude, qui n'a jamais été entreprise jusqu'à présent dans aucune installation urbaine ni dans aucun laboratoire, font l'objet du chapitre suivant.

Dans notre station expérimentale de la Madeleine, nous avons jugé nécessaire d'étudier comparativement la marche de la solubilisation des matières solides apportées par les eaux d'égout en présence et en l'absence de l'air.

Certains ingénieurs sanitaires anglais prétendent, en effet, qu'il est indispensable de maintenir le liquide contenu dans les fosses septiques *à l'abri du contact de l'air* (Cameroun, Septic-Tank Syndicate). Ils préconisent, par suite, la couverture des fosses, et ne laissent qu'une cheminée ouverte à l'air libre pour l'échappement des gaz qui résultent des fermentations anaérobies.

Or, le coût de cette couverture en voûtes de maçonnerie ou en ciment armé étant considérable pour les bassins de grandes dimensions, il y avait un grand intérêt à préciser le rôle exact qu'elle remplit.

Nous avons donc construit parallèlement deux fosses de 255 mètres cubes de capacité chacune, et de même profondeur ($2^{m},61$), munies des mêmes dispositifs intérieurs (chicanes) pour faciliter le dépôt des matières en suspension. L'une de ces fosses a été fermée par une voûte en maçonnerie recouverte d'une épaisse couche de terre ensemencée de gazon. L'autre est restée ouverte à l'air libre (fig. 2).

Le tableau ci-après montre que les différences que nous avons pu constater entre les effluents de la fosse ouverte et celui de la fosse couverte sont très faibles. L'écart moyen est si peu considérable que les frais nécessités par la couverture ne se justifient certainement pas.

Les résultats donnés pour les matières organiques, le carbone organique, l'ammoniaque, les nitrates, les nitrites et les chlorures se rapportent à l'eau débarrassée par filtration des matières en suspension. Les méthodes d'analyse employées seront exposées plus loin au sujet du travail des lits bactériens de premier et de second contact.

Le taux des matières en suspension reste seulement un peu moindre à la sortie de la fosse fermée ; le carbone organique et l'ammoniaque y sont aussi en légère augmentation.

Dans la fosse ouverte une petite partie de l'acide carbonique et de l'ammoniaque s'échappe dans l'atmosphère, et l'influence des vents qui agitent la surface du liquide gêne parfois le

dépôt des matières de faible densité. Mais pour éviter que des substances organiques non dissoutes soient entraînées dans l'effluent, il eût suffi de donner à la fosse une longueur un peu plus grande sans augmenter sa capacité, et d'accroître légèrement le nombre des chicanes. Avec cette précaution, il est certain que la couverture devient tout à fait superflue.

Les plus grands froids que nous ayons eu à subir au cours de l'hiver 1904-1905 n'ont jamais gêné les fermentations anaérobies de nos fosses. Le thermomètre enregistreur plongeant à deux mètres de profondeur dans la masse liquide nous a d'ailleurs toujours accusé des températures de + 15° en moyenne (minimum + 12°,4 alors que le thermomètre placé à l'air libre marquait — 5° et même — 7° (graph. 22). Il faut en voir la raison dans ce fait que les eaux-vannes ménagères sont toujours tièdes et les fermentations anaérobies exothermiques contribuent sans doute à empêcher leur refroidissement rapide dans les bassins profonds où elles ne subissent qu'un mouvement de translation extrêmement lent.

Moyennes d'Analyses du 1er au 31 mai 1905. — Résultats en milligrammes par litre.

	Alcalinité	MATIÈRES EN SUSPENSION		MATIÈRES EN SOLUTION		OXYGÈNE ABSORBÉ			MATIÈRES ORGANIQUES dosage au permanganate en oxygène		Carbone organique en CO^2	Ammoniaque en $Az H^3$		Nitrates en Az^2O^5	Nitrites en Az^2O^3	Chlorures en Cl
		Organiques	Minérales	Organiques	Minérales	En 5 minutes	En 4 heures	Après 5 jours d'incubation à 30°	En solution acide	En solution alcaline		Libre ou saline	Organique			
Eau brute de la Madeleine.	420	566	666	464	747	7,1	24,4	34,4	64,5	42,0	109	9,8	9,7	1,80	»	256
Effluent de la fosse septique ouverte	410	25,7	27,0	507	708	8,2	24,5	34,7	57,0	40,0	128	12,1	10,8	1,20	»	245
Effluent de la fosse septique fermée.	450	17,0	18,0	415	800	9,2	25,2	29,0	55,0	42,0	154	15,8	11,5	1,51	»	251

CHAPITRE IV

BILAN DE L'AZOTE ET DU CARBONE A L'ENTRÉE ET A LA SORTIE DES FOSSES SEPTIQUES

Dans l'épuration des eaux résiduaires par les procédés biologiques, les matières organiques apportées par les eaux deviennent la proie des microbes qui les décomposent et leur font reprendre la forme gazeuse ou minérale. Quand l'installation d'épuration comprend une fosse septique et des lits bactériens, ces décompositions se font à la fois dans la fosse et dans les lits. Il est nécessaire d'établir quelle part prend chacun de ces organes à l'épuration de l'eau. Il entre chaque jour dans la fosse septique une certaine proportion de matières organiques solubles et insolubles, et il en sort une certaine quantité. Les violents dégagements gazeux qui se produisent dans la fosse, indiquent une destruction active de la matière introduite. Quelle est la proportion de matières organiques qui disparaît dans la fosse en diminuant ainsi le taux d'impuretés de l'eau à la sortie? Que devient l'azote de la matière azotée introduite, et retrouve-t-on à la sortie de la fosse septique tout l'azote entré? Les mêmes questions se posent pour les eaux de la fosse septique avant et après passage sur les lits bactériens.

Pour ce qui concerne la fosse septique, la solution de ces problèmes présente d'assez fortes difficultés. En effet, il est nécessaire de déterminer les quantités totales de carbone organique et d'azote organique et ammoniacal *entrées* dans la fosse septique pendant une période déterminée, et les quantités totales de carbone organique et d'azote organique et ammoniacal *sorties* pendant cette même période, et de

comparer ces deux quantités entre elles. Il est inutile de se préoccuper du carbone qui existe dans les eaux à l'état gazeux (acide carbonique, formène) ou à l'état de carbonates, ce carbone se trouvant déjà pratiquement sous la forme gazeuse ou minérale, c'est-à-dire dégradé au point voulu. Il en est de même pour l'azote gazeux et les nitrates, ces derniers étant d'ailleurs très peu abondants dans les eaux à l'entrée et à la sortie de la fosse septique. Pour déterminer les quantités de carbone organique et d'azote organique et ammoniacal entrées et sorties dans une période donnée, il faut connaître les volumes d'eaux entrées chaque jour, et recueillir pour l'analyse un échantillon moyen journalier qui représente aussi exactement que possible la composition de l'eau entrée et sortie pendant les 24 heures. Il faut, en outre, choisir une période assez longue pour avoir un chiffre moyen acceptable. La fosse septique ayant un volume constant suffisant pour recueillir les eaux qui arrivent en 24 heures, elle évacue en moyenne chaque jour les eaux arrivées dans les 24 heures qui précèdent, de sorte qu'il suffirait *a priori* d'analyser l'eau d'une journée à l'entrée, et l'eau de la journée du lendemain à la sortie pour avoir les chiffres voulus. Mais, en pratique, il se produit des mélanges de couches dans la fosse; en outre, il y a des variations considérables dans les débits journaliers, et il arrive que l'eau séjourne en fosse septique parfois 48 heures par suite de la faiblesse du débit, parfois 18 heures par suite de l'abondance des eaux à l'arrivée. Pour éliminer cette influence perturbatrice, il faut allonger la durée de la période de contrôle. Une durée de 15 jours, pendant laquelle le contenu de la fosse se renouvelle environ 15 fois, permet de supprimer complètement cette cause d'erreur.

Une autre grosse difficulté provient de ce fait qu'une telle expérience ne peut être tentée que sur une fosse septique en marche normale. Or, quand une fosse septique est en marche normale, il s'est formé au fond une certaine quantité de dépôts qui sont le siège de fermentations très actives. Ces dépôts se gazéifient en grande partie sous l'action des microbes; une autre partie se solubilise et passe dans l'effluent de sortie; enfin, une petite proportion reste inattaquée, de sorte que la boue augmente peu à peu dans la fosse; mais cette dernière

quantité qui représente l'excès des matières solides introduites sur les matières solides disparues sous l'influence de l'activité microbienne, est faible quand les eaux ne sont pas trop boueuses, et elle n'atteint qu'environ 7 à 8 mètres cubes à la Madeleine après un an de fonctionnement, pour une fosse septique de 250 mètres cubes, ce qui est peu de chose par rapport aux volumes énormes de matières solides introduites depuis un an dans la fosse.

Il existe donc déjà dans la fosse septique, au premier jour de l'expérience, quand on commence à compter les matières qui entrent chaque jour, une certaine quantité de boues qu'il est impossible d'évaluer avec précision. Une partie de ces boues va rester inattaquée, une autre partie, très considérable, va être gazéifiée par les microbes, enfin une dernière partie va être solubilisée, et pendant la durée de l'expérience, passera dans l'effluent de sortie. Les deux premières parties ne peuvent avoir aucune influence sur la composition de l'effluent de sortie, puisqu'elles passent à l'état gazeux ou restent dans la fosse : elles n'ont donc aucune action perturbatrice sur le rapport des matières entrées aux matières sorties pendant une période déterminée. Seule, la dernière partie nous intéresse, car elle est susceptible de troubler les résultats en donnant à la sortie des matières qui n'ont pas été comptées à l'entrée. Mais, pendant toute la durée de la période de contrôle, quinze jours, par exemple, il va entrer dans la fosse une certaine quantité de matières dont la composition est connue par l'analyse. Les matières solides vont se déposer presque totalement. Une partie de ces dépôts restera inattaquée, la plus grande partie sera ultérieurement gazéifiée, enfin une partie se solubilisera et passera dans l'effluent de sortie. Les deux premières parties, qui ne se trouveront plus à la sortie, peuvent être considérées comme éliminées de l'eau, puisqu'elles prendront la forme gazeuse ou seront enlevées au bout d'un temps assez long sous forme de boues. Elles représentent, somme toute, le pouvoir d'épuration de la fosse septique. Seule, la dernière partie se retrouve à l'effluent de sortie, mais comme cette solubilisation des dépôts entrés pendant la période de contrôle se poursuit bien après la fin de cette période, il nous manquera, de ce fait, à la sortie, une cer-

taine quantité de carbone et d'azote comptée à l'entrée, qui sera solubilisée plus tard.

Donc, en résumé, nous avons *en plus*, à la sortie, ce qui se solubilisera pendant l'expérience des dépôts antérieurs à la période de contrôle, et *en moins* ce qui se solubilisera après l'expérience des dépôts entrés pendant la période d'essais. Or, ces deux quantités sont très inégales de jour à jour, mais, si on prend une moyenne de quinze jours environ, on constate que le chiffre de carbone et d'azote solubles éliminés par la fosse est à peu près constant pour chaque période, quand la marche est normale, ce qui se comprend très bien, puisque le volume des dépôts est toujours à peu près le même et n'augmente qu'avec une grande lenteur. Le gain compense donc à peu près la perte, et en faisant le rapport du carbone entré au carbone sorti et de l'azote entré à l'azote sorti, il est possible de se rendre compte, d'une façon assez approchée, des pertes et des décompositions qui s'opèrent dans la fosse septique.

Comment peut-on déterminer dans la pratique le rapport du carbone et de l'azote entrés pendant une période de quinze jours, par exemple, au carbone et à l'azote sortis pendant cette même période.

Soient $V, V_1, V_2, \ldots V_n$ les volumes d'eaux entrés chaque jour dans la fosse septique, et $V', V'_1, V'_2, \ldots V'_n$ les volumes d'eaux sortis chaque jour de la fosse du premier au $n^{ième}$ jour. Quand le régime est établi, il sort chaque jour autant d'eau qu'il en entre, puisque le volume de la fosse septique est constant et limité par le niveau du trop plein. On a donc respectivement, du premier au $n^{ième}$ jour :

$$V = V', \quad V_1 = V'_1, \quad V_2 = V'_2 \ldots . V_n = V'_n.$$

Prenons pour exemple le rapport du carbone entré au carbone sorti, et désignons par $\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_n$ les richesses en carbone des volumes $V, V_1, V_2, \ldots V_n$ et par $\alpha', \alpha'_1, \alpha'_2, \ldots \alpha'_n$ les richesses en carbone des volumes $V', V'_1, V'_2, \ldots V'_n$.

Les quantités totales de carbone entrées dans la fosse septique, du premier au $n^{ième}$ jour, sont représentées la par somme :

$$S = \alpha V + \alpha_1 V_1 + \alpha_2 V_2 + \ldots . + \alpha_n V_n.$$

De même les quantités totales de carbone sorties de la fosse

septique, du premier au $n^{ième}$ jour, sont représentées par la somme :

$$S' = \alpha' V + \alpha'_1 V_1 + \alpha'_2 V_2 + \ldots + \alpha'_n V_n.$$

en remplaçant V', V'_1, $V'_2, \ldots V'_n$ par leurs valeurs égales $V, V_1, V_2, \ldots V_n$.

Le rapport du carbone sorti au carbone entré, c'est-à-dire la proportion de carbone qui sort pour 1 de carbone qui entre est représenté par la formule :

$$R = \frac{\alpha' V + \alpha'_1 V_1 + \alpha'_2 V_2 + \ldots + \alpha'_n V_n}{\alpha V + \alpha_1 V\alpha + \alpha_2 V_2 + \ldots\ldots + \alpha_n V_n} = \frac{S'}{S} \qquad (1)$$

Les chiffres $\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_n$ et $\alpha', \alpha'_1, \alpha'_2, \ldots \alpha'_n$ sont déterminés par l'analyse journalière. Il reste à déterminer $V, V_1, V_2, \ldots V_n$. Pour cela supposons une dérivation de l'effluent d'entrée qui, par un déversoir prend une portion $\frac{1}{\lambda}$ du volume total entré chaque jour et conduit ce liquide dans un bassin jaugé où l'on prend tous les jours les volumes $v, v_1, v_2, \ldots, v_n$. Nous avons par définition :

$$V = \lambda v; \quad V_1 = \lambda v_1; \quad V_2 = \lambda v_2 \ldots \; V_n = \lambda v_n.$$

En remplaçant dans la formule (1) ci-dessus $V, V_1, V_2, \ldots V_n$ par ces valeurs, il vient, en supprimant λ qui devient facteur commun :

$$R = \frac{\alpha' v + \alpha'_1 v_1 + \alpha'_2 v_2 + \ldots + \alpha'_n v_n}{\alpha v + \alpha_1 v_1 + \alpha_2 v_2 + \ldots\ldots + \alpha_n v_n} = \frac{S'}{S},$$

équation dont tous les termes sont connus, indépendante de la valeur λ du déversoir, pourvu que celle-ci reste constante pendant toute la durée de l'expérience.

Dans la pratique, il suffira donc, pour calculer R, de prendre chaque jour les volumes $v, v_1, v_2, \ldots v_n$ du bassin d'échantillonnage et de soumettre les échantillons à l'analyse pour déterminer $\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_n$ et $\alpha', \alpha'_1, \alpha'_2, \ldots \alpha'_n$.

Le même calcul permettra de déterminer de la même manière le rapport de l'azote sorti à l'azote entré.

L'échantillonnage à l'entrée de la fosse septique a été fait par un déversoir prenant 1/50 de l'effluent d'entrée. Cet échantillon est conduit dans une fosse jaugée. Tous les jours, on prend le volume du liquide recueilli dans les vingt-quatre

heures, on agite énergiquement pour mettre tous les dépôts en suspension et on prend aussitôt les échantillons pour l'analyse. La même opération est faite à la sortie de la fosse septique avec un déversoir qui prend 1/100 du volume total sorti. L'échantillon est de même conduit dans une fosse jaugée. On en prend tous les jours le volume et on prélève les échantillons pour l'analyse.

La fosse septique sur laquelle l'expérience a été faite a un volume de 250 mètres cubes et son contenu est renouvelé en moyenne chaque jour par l'eau qui arrive d'une façon continue. Les analyses de sortie n'ont commencé qu'un jour après celles d'entrée, l'eau mettant environ un jour pour arriver à la sortie de la fosse septique. Elles ont de même été prolongées un jour après celles d'entrée pour tenir compte de l'eau entrée la veille. La période d'expérience a duré deux semaines, du 12 au 26 juin, pour réduire au minimum les influences perturbatrices signalées plus haut.

a. **Méthodes d'analyse**. — Les méthodes employées pour les analyses ont été les suivantes :

Carbone organique. — La seule méthode rigoureuse de dosage du carbone organique consiste à évaporer l'eau à basse température en présence d'acide sulfureux pour éliminer le carbone minéral, d'après la méthode Frankland, à brûler le résidu dans le tube à combustion avec l'oxyde de cuivre et à recueillir l'acide carbonique formé. Cette méthode a toutefois le grave inconvénient d'être très longue et peu pratique quand on doit faire chaque jour un certain nombre de dosages, ce qui est le cas pour un contrôle de cette nature: en outre, l'adhérence très forte des dépôts au vase d'évaporation rend l'introduction difficile dans le tube à oxyde de cuivre, et il y a toujours des pertes sensibles de ce chef. Aussi avons-nous substitué à l'oxyde de cuivre le traitement par le bichromate de potasse et l'acide sulfurique d'après la méthode de Desgrez modifiée par Lambling et Donzé. L'acide carbonique produit était recueilli dans un barboteur de Schlœsing et déterminé par pesée.

Voici comment l'opération a été conduite : Un litre d'eau à analyser est additionné de 20 centimètres cubes d'une

solution saturée d'acide sulfureux et porté à l'ébullition quelques instants pour éliminer tout le carbone minéral ou gazeux.

Le liquide est alors évaporé au bain-marie dans une capsule de verre, d'après la méthode indiquée par Frankland pour le dosage du carbone dans les eaux d'égout. L'évaporation demande 24 heures environ. Le résidu sec est alors introduit en majeure partie dans le ballon d'attaque de l'appareil de Desgrez, et on achève de tout introduire en lavant à plusieurs reprises la capsule à l'eau bouillante, et en la frottant avec un agitateur muni d'un bout de caoutchouc. Le volume total ne doit pas dépasser 20 centimètres cubes.

L'appareil dans lequel on fait l'attaque par le bichromate de potasse et l'acide sulfurique, comprend : 1° un petit barboteur de Cloez contenant de la lessive de soude; 2° un tube en spirale de Winkler contenant de la lessive de soude. Les deux appareils sont destinés à arrêter l'acide carbonique de l'air qu'on fait passer dans l'appareil; 3° le ballon d'attaque, d'une capacité de 100 centimètres cubes environ; 4° un réfrigérant à reflux pour condenser les vapeurs entraînées; 5° un tube à ponce sulfurique pour dessécher les gaz; 6° un tube à ferrocyanure de potassium et un tube à borate de soude desséché pour arrêter le chlore et l'acide chlorhydrique; 7° un tube à oxyde de cuivre et chromate de plomb, de 25 centimètres de longueur, destiné à faire passer à l'état d'acide carbonique les petites quantités d'oxyde de carbone qui se forment dans l'attaque par le bichromate de potasse et l'acide sulfurique, et à arrêter le soufre; 8° un tube à ponce sulfurique pour enlever les traces d'humidité que peut encore contenir le gaz; 9° les deux tubes absorbants pour l'acide carbonique comprenant un barboteur Schlœsing rempli de lessive de potasse et un tube en U contenant dans une branche de la potasse en plaques et dans l'autre de la ponce sulfurique; 10° un tube à ponce sulfurique pour protéger le tube en U contre la vapeur d'eau de l'atmosphère.

On allume la grille, on adapte les tubes absorbants pour l'acide carbonique après les avoir pesés, et on ajuste le ballon d'attaque contenant le résidu à analyser, dilué dans les 20 centimètres cubes d'eaux de lavage de la capsule, et 6 grammes

de bichromate de potasse en poudre. On fait alors couler goutte à goutte par un tube à brome, 20 centimètres cubes d'acide sulfurique pur. Quand tout l'acide est introduit, on chauffe, de manière à produire un dégagement de gaz régulier. Quand le dégagement gazeux se ralentit, on greffe le tube à ponce sulfurique qui se trouve à l'extrémité de l'appareil sur une trompe et on fait passer bulle à bulle un courant d'air qui se débarrasse de son acide carbonique dans les deux premiers barboteurs et balaie l'appareil. On continue l'ébullition pendant une heure, puis on cesse de chauffer et on fait passer le courant d'air pendant une heure encore. On détache alors les tubes absorbants, leur augmentation de poids donne l'acide carbonique.

L'opération dure trois heures à peine ; et, conduite avec les précautions indiquées, elle donne des résultats comparables, comme exactitude, avec ceux qu'on obtient avec l'oxyde de cuivre, ainsi qu'il résulte des recherches de Lambling et Donzé.

Azote ammoniacal. — 500 centimètres cubes d'eau sont additionnés de magnésie calcinée et distillés au serpentin ascendant de Schlœsing. L'ammoniaque est recueillie dans de l'acide sulfurique titré décime.

Azote organique. — 500 centimètres cubes d'eau sont évaporés en présence de 20 centimètres cubes d'acide sulfurique pur jusqu'à un volume de 25 centimètres cubes. On ajoute un cristal de sulfate de protoxyde de fer pour détruire les nitrates, puis une gouttelette de mercure et on procède à l'attaque Kjeldahl. La distillation a lieu au serpentin de Schlœsing en précipitant le mercure à l'état métallique par l'hypophosphite de soude (méthode de Maquenne et Roux). On retranche du résultat obtenu l'azote ammoniacal pour avoir l'azote organique.

b. **Résultats des analyses de la période de contrôle.** — Le tableau suivant résume les résultats obtenus dans les analyses journalières à l'entrée et à la sortie dans la période du 12 au 28 juin 1905.

L'examen de ce tableau permet de tirer les conclusions suivantes :

JOURS	VOLUMES v. observés en litres	CARBONE en milligr. de C par litre		AZOTE AMMONIACAL en milligr. d'Az par litre		AZOTE ORGANIQUE en milligr. d'Az par litre		AZOTE TOTAL en milligr. d'Az par litre	
		ENTRÉE	SORTIE	ENTRÉE	SORTIE	ENTRÉE	SORTIE	ENTRÉE	SORTIE
13 juin.	8 460	59,6	»	7,7	»	6,2	»	13,9	»
14 —	11 520	65,9	62,9	4,3	8,3	8,2	7,6	12,5	15,9
15 —	10 530	89,6	50,7	5,0	6,1	8,7	6,2	13,7	12,3
16 —	9 450	101,5	50,5	5,3	7,7	11,7	6,7	17,0	14,4
17 —	9 990	140,6	71,2	6,8	7,4	16,1	9,1	22,9	16,5
18 —	8 190	75,1	37,9	7,1	9,1	8,6	6,6	15,7	15,7
19 —	6 180	102,8	30,4	6,1	10,8	9,7	4,8	15,8	15,6
20 —	12 015	95,3	38,2	5,4	12,0	11,0	5,3	16,4	17,3
21 —	10 800	85,6	46,6	4,3	7,3	8,4	4,8	12,7	12,1
22 —	9 180	81,5	58,2	6,6	7,7	7,8	6,2	14,4	13,9
23 —	7 740	95,9	54,3	8,4	9,0	10,5	6,9	18,9	15,9
24 —	9 990	124,1	50,1	7,8	10,5	12,6	6,5	20,4	17,0
25 —	7 290	134,5	48,7	7,6	9,9	14,1	7,6	21,7	17,5
26 —	6 250	»	61,5	»	9,9	»	8,9	»	18,8

1° Le carbone organique est toujours beaucoup plus faible à la sortie qu'à l'entrée.

2° L'azote ammoniacal augmente fortement à la sortie.

3° L'azote organique est au contraire en plus faible quantité dans l'effluent de sortie que dans l'effluent d'arrivée.

4° L'augmentation de l'azote ammoniacal semble un peu plus faible que la diminution d'azote organique ; aussi, en moyenne, l'azote total paraît un peu moins élevé à la sortie qu'à l'entrée.

Les chiffres donnés ci-dessus correspondent à la totalité des matières (solubles et insolubles) contenues dans l'eau à l'entrée et à la sortie.

Si maintenant nous multiplions ces chiffres par les volumes v observés chaque jour dans le bac d'échantillonnage, de manière à former le rapport R signalé plus haut, nous obtenons pour R les valeurs suivantes :

Valeurs de R, rapport des matières sorties aux matières entrées.

Pour le carbone organique.	Pour l'azote ammoniacal.	Pour l'azote organique.	Pour l'azote total.
0,5437	1,3622	0,6370	0,9147

Pendant la période de contrôle, on a donc retrouvé en moyenne, à la sortie, 54 pour 100 du carbone entré. On peut donc dire que la moitié environ du carbone, disparaît dans la fosse septique, soit sous la forme gazeuse, soit sous forme de dépôts qu'on extrait à la longue. Il y a de même une forte diminution de l'azote organique, puisqu'on n'en retrouve que 64 pour 100 à la sortie. Cette perte est en grande partie compensée par l'augmentation de l'azote ammoniacal. Toutefois, on ne retrouve pas à la sortie tout l'azote entré. La proportion d'azote total retrouvé est d'environ 92 pour 100; et il y a une perte de 8 pour 100. Cette perte peut être attribuée à plusieurs causes. D'abord, le liquide ammoniacal de la fosse septique est le siège de dégagements gazeux incessants qui entraînent forcément avec eux une certaine quantité d'ammoniaque dans l'air. Ensuite, il y a à l'entrée de la fosse septique environ 2 milligrammes de nitrates par litre, évalués en $A_{2}^{2}{}_{0}^{5}$ qui se dénitrifient en grande partie dans la fosse. Cette dénitrification n'influe pas sur notre chiffre, puisque nous avons négligé les nitrates; mais elle est accompagnée de la décomposition de l'azote des amides, et dans la dénitrification une partie de l'azote organique, à peu près égale à celle qui provient des nitrates, prend l'état gazeux et se trouve ainsi perdue.

Enfin, une certaine quantité de matières azotées reste dans la fosse sous forme de dépôts, qu'on élimine au bout d'un temps plus ou moins long. Cette dernière quantité est faible; elle n'est cependant pas négligeable. La perte d'azote à la sortie de la fosse septique est donc parfaitement explicable.

Le tableau relatif à la comparaison de la marche de la fosse septique ouverte et de la fosse septique fermée, accuse une augmentation du carbone organique et de l'azote organique à la sortie. Cette augmentation n'est qu'apparente, car les analyses de ce tableau se rapportent aux liquides *filtrés*, au lieu de se rapporter aux liquides bruts comme dans l'expérience qui précède. Les matières en suspension ne sont donc pas comprises dans les analyses d'entrée, et on retrouve à la sortie les produits solubles qu'elles donnent, d'où l'augmentation observée.

Il est certain que ces chiffres ne sont qu'approchés et qu'ils peuvent varier suivant les circonstances et notamment suivant

la richesse des eaux en matières organiques et en azote et suivant le fonctionnement plus ou moins actif de la fosse septique. Ils permettent cependant de se rendre compte de l'importance de la fosse septique dans l'épuration de l'eau. La fosse septique fait disparaître somme toute, à peu près la moitié du carbone qui entre, et elle est l'agent principal de dégradation et de destruction des matières hydrocarbonées. Vis-à-vis de l'azote, son rôle se borne à solubiliser et à transformer en ammoniaque les matières azotées complexes; la diminution de l'azote est faible et ce sont les lits bactériens qui sont principalement chargés de l'épuration définitive des eaux sous le rapport des matières azotées.

CHAPITRE V

TRAVAIL DES LITS BACTÉRIENS DE PREMIER ET DE SECOND CONTACT COMPOSITION DES EAUX A L'ENTRÉE ET A LA SORTIE MÉTHODES D'ANALYSE

Pour suivre le travail de désintégration de la matière organique sur les lits bactériens, nous avons analysé chaque jour, à partir du 1er août 1904, jusqu'au 1er juillet 1905, un ou plusieurs échantillons d'eau prélevés :

1° Dans le bassin collecteur, au sortir de l'une ou l'autre fosse septique;

2° A la sortie des lits de premier contact;

3° A la sortie des lits de second contact.

Les lits ont presque constamment fonctionné à raison de deux remplissages par douze heures, pour éviter un service de nuit.

Toutefois, pendant les mois de mai et juin 1905, nous leur avons imposé successivement trois, puis quatre remplissages par vingt-quatre heures, afin de nous rendre compte des limites de leur capacité d'oxydation.

En règle générale, les alternances d'immersion et d'aération pour chaque lit étaient établies de la manière suivante :

Pour le premier contact qui recevait l'eau sortant des fosses septiques :

1 heure de remplissage ;
2 heures plein ;
1 heure pour vider;
3 heures d'aération ;
1 heure de remplissage;
2 heures plein;
1 heure pour vider;
13 heures d'aération (nuit)

Pour le second contact :

1 heure de remplissage;
1 heure plein;
1 heure pour vider;
5 heures d'aération;
1 heure de remplissage;
1 heure plein;
1 heure pour vider;
15 heures d'aération (nuit et matinée).

Lorsque les lits ont reçu trois remplissages par vingt-quatre heures, les alternances étaient réglées comme suit :

1 heure pour remplir . .	Répétés trois fois en 24 heures, soit 3 cycles de 8 heures chacun.
2 heures de plein. . . .	
1 heure pour vider . . .	
4 heures d'aération . . .	

Avec quatre remplissages par vingt-quatre heures, les périodes d'immersion étaient réduites à une heure et les périodes d'aération à trois heures.

Disons immédiatement que les résultats ont toujours été très satisfaisants avec deux ou trois remplissages par vingt-quatre heures. Avec quatre remplissages, ils devenaient beaucoup moins parfaits, la nitrification n'ayant pas le temps de s'effectuer.

La limite de trois cycles doit donc être considérée comme ne devant pas être normalement dépassée : elle correspond à un débit moyen d'un mètre cube d'eau à épurer sur chaque contact, par mètre carré de surface de lit bactérien et par vingt-quatre heures; soit pour les deux contacts, 500 *litres par mètre carré de surface totale et par jour.*

Les analyses chimiques ont porté régulièrement sur :

1° L'évaluation de la matière organique par l'oxydabilité au permanganate de potasse en solution acide et en solution alcaline;

2° La détermination de l'oxygène absorbé en trois minutes et en quatre heures aussitôt après les prises d'échantillon, et en trois minutes après sept jours d'incubation à l'étuve à 30° en flacon hermétiquement clos (*test d'incubation*);

3° Le dosage de l'azote ammoniacal et organique;
4° Les nitrites;
5° Les nitrates;
6° De temps en temps, le dosage du carbone organique.

1. **Évaluation de la matière organique.** — Il n'existe aucun procédé analytique qui permette de différencier les diverses matières organiques que renferment les eaux d'égout. Ces substances sont d'origine très variable, animale ou végétale, et elles ont déjà subi sous l'influence des fermentations anaérobies en fosses septiques, toute une série de réactions et de dégradations successives qui augmentent encore la difficulté de leur étude.

On est donc dans l'impossibilité absolue de les caractériser autrement qu'en les dosant en bloc, c'est-à-dire en les représentant par le poids d'oxygène qu'elles sont susceptibles d'emprunter au permanganate de potasse.

Cette méthode ne saurait nous satisfaire, car les matières organiques, suivant leur état et leur nature, absorbent des poids différents d'oxygène : les substances d'origine végétale, par exemple, d'après Pouchet et Bonjean, empruntent au milieu acide plus d'oxygène au permanganate que les produits de putréfaction des matières albuminoïdes animales.

Mais si nous ne pouvons rien en conclure de précis, du moins nous est-il possible de suivre les différences d'oxydabilité de nos eaux d'égout avant et après leur passage sur les lits bactériens. Les chiffres obtenus nous fournissent des résultats comparables puisqu'ils portent sur la même eau. Ne leur demandons rien autre chose.

On sait qu'il existe deux procédés de dosage des matières organiques par le permanganate, l'une en milieu acide, l'autre en milieu alcalin. Tandis que Tiemann et Preusse admettent que les substances qui fixent mieux l'oxygène en milieu acide sont les plus complexes et les plus éloignées des stades de désintégration, Albert Lévy pense, avec G. Pouchet et Bonjean, que les substances d'origine animale sont plus avides d'oxygène en milieu alcalin qu'en milieu acide. Le contraire se produit pour les substances d'origine végétale.

Nous avons donc cru préférable d'employer simultanément

et dans tous les cas la méthode de Kubel-Tiemann (solution acide) et celle de A. Lévy (solution alcaline) légèrement modifiée.

L'évaluation de la matière organique par l'oxydabilité au permanganate repose sur le principe suivant :

Lorsqu'on additionne une eau renfermant des matières organiques d'une petite quantité de permanganate de potassium, à froid ou, plus rapidement, à chaud, on voit la coloration disparaître et faire place à un dépôt brun d'oxyde de manganèse. Le permanganate a perdu une partie de son oxygène et s'est transformé d'après l'équation suivante :

$$2MnO^4K + 3So^4H^2 = SO^4K^2 + 2SO^4Mn + 3H^2O + 5O$$

L'oxygène est consommé par la matière organique.

Réactifs. — 1° Solution *A* de permanganate de potassium à 3 gr, 16 par litre.

2° Solution *B* de permanganate de potassium diluée : on porte 125 centimètres cubes de la solution A à un litre par addition d'eau distillée. 1 centimètre cube de cette solution correspond à 0mgr,1 d'oxygène.

3° Solution de sulfate ferreux ammoniacal. On dissout 10 grammes de sulfate ferreux ammoniacal avec 10 centimètres cubes d'acide sulfurique pur dans de l'eau distillée et on porte le volume à 1 litre.

4° Solution déci-normale d'acide oxalique à 6gr,3 par litre. Cette solution ne se conservant que peu de temps doit être fréquemment renouvelée. On peut aussi la stériliser par filtration à la bougie Chamberland, en gardant les solutions ainsi filtrées dans des flacons stérilisés. 10 centimètres cubes de cette solution correspondent à 8 centimètres cubes de la solution B de permanganate.

5° Solution d'acide sulfurique pur dilué. On verse avec précaution dans 800 centimètres cubes d'eau distillée 200 centimètres cubes d'acide sulfurique pur et on laisse refroidir.

6° Solution saturée de bicarbonate de soude pur.

Technique. — L'oxydabilité est obtenue par la différence entre l'oxygène emprunté au permanganate par une quantité x d'eau d'égout et l'oxygène emprunté au permanganate par une quantité $2x$ de cette même eau d'égout. Dans un matras

conique d'Erlenmeyer de 250 centimètres cubes de capacité, nous mesurons une quantité d'eau, filtrée au papier, telle qu'après l'ébullition avec 40 centimètres cubes de solution B de permanganate, le liquide reste nettement coloré en rouge. Dans un autre vase de même capacité, nous mesurons une quantité d'eau double de la première. (Dans nos expériences avec les eaux de la Madeleine, nous avons employé respectivement 10 et 20 centimètres cubes d'eau brute ou d'eau sortant des fosses septiques, 25 et 50 centimètres cubes d'eau sortant du premier lit bactérien, 50 et 100 centimètres cubes d'eau sortant du deuxième lit bactérien, second contact.)

On complète, quand cela est nécessaire, avec de l'eau distillée, pour avoir dans les deux vases un volume égal de 100 centimètres cubes. On verse alors dans chacun des matras 10 centimètres cubes d'acide sulfurique dilué et 40 centimètres cubes de solution B de permanganate. On porte à l'ébullition ménagée pendant 10 *minutes* exactement.

On ajoute 20 centimètres cubes de solution de sulfate ferreux qui décolore complètement la liqueur et on laisse refroidir.

On revient à la teinte rose très légère en ajoutant à l'aide d'une burette graduée la solution B de permanganate.

La différence volumétrique de solution de permanganate trouvée entre les deux épreuves représente l'oxygène consommé par la matière organique de 10, 25 ou 50 centimètres cubes de l'eau employée. Or, comme 1 centimètre cube de la solution B de permanganate correspond à $0^{mgr},1$ d'oxygène, en multipliant respectivement par 100 ou par 40 ou par 20, on évalue la quantité d'oxygène empruntée au permanganate par litre d'eau d'égout, en *solution acide*.

Pour l'évaluation en milieu alcalin, on opère sur les mêmes dilutions auxquelles on ajoute 20 centimètres cubes de solution de bicarbonate de soude et 40 centimètres cubes de solution B de permanganate. Après 10 *minutes* d'ébullition, on sature le bicarbonate par 10 centimètres cubes d'acide sulfurique pur dilué, ajouté avec précaution, et on titre comme précédemment.

Les solutions de permanganate étant assez facilement altérables, on doit en déterminer chaque jour le titre, à l'aide de la solution d'acide oxalique.

Résultats. — Les coefficients d'oxydabilité au permanganate varient naturellement beaucoup dans l'effluent des fosses septiques suivant la composition, elle-même très variable, de l'eau brute.

Dans nos dosages en solution acide, l'écart oscille de 32 milligrammes (du 20 au 25 mars) chiffre minimum (par litre) à 90 (du 6 au 11 février) chiffre maximum que nous ayons observé.

La moyenne de onze mois est de 61^{mgr},5.

En solution alcaline, le minimum a été 19 milligrammes (également du 20 au 25 mars) et le maximum 77 milligrammes du 6 au 11 février.

La moyenne de onze mois est de 47^{mgr},2.

Après les premier et second contacts, les moyennes sont, respectivement pour nos deux lits de chaque contact :

	En solution acide.	En solution alcaline.
	—	—
Après le 1er contact. . . .	37^{mgr} et 35^{mgr},6	27^{mgr},2 et 28^{mgr},7.
Après le 2e contact . . .	21^{mgr},4 et 21^{mgr},1	21^{mgr},7 et 19^{mgr},6.

Nous donnons ci-après : 1° les moyennes hebdomadaires relevées dans nos expériences du 1er août 1904 au 3 juillet 1905 (*tableaux I et II*) ;

2° Un schéma représentant ces moyennes pour l'ensemble de onze mois (*graphique n° 1*) ;

3° Quatre courbes montrant la marche de l'oxydabilité en *solution acide* et en *solution alcaline* des effluents respectifs des fosses septiques, du premier et du deuxième contact pour nos deux lits de chaque contact, série A (A^1, A^2, premier contact; deuxième contact : B^1 et B^2) (*graphiques n^{os}* 2, 3, 4 et 5).

4° Une courbe permettant d'établir la comparaison des résultats fournis par les méthodes d'évaluation des matières organiques au moyen du permanganate de potasse en solution acide et en solution alcaline (*graphique n° 6*).

L'examen de ces courbes indique que l'eau épurée sortant du deuxième contact présente encore un indice d'oxydabilité assez considérable. Et cependant, cette eau renferme, comme nous le verrons plus loin, une quantité importante de nitrates et elle n'est plus putrescible en vase clos, même après sept jours d'étuve à 30°.

TABLEAU I.

Oxydabilité (dosage en solution alcaline).

DATES		BASSIN COLLECTEUR (après fosse septique)	LITS BACTÉRIENS A1 1er CONTACT	LITS BACTÉRIENS A2 2e CONTACT	LITS BACTÉRIENS B1 1er CONTACT	LITS BACTÉRIENS B2 2e CONTACT
AOUT	Du 1 au 6.	55,6	21,8	16,2	25,7	15,7
	— 8 — 13.	48,8	25,8	14,4	25,9	15,5
	— 16 — 20.	48,5	27,8	16,2	26,0	18,8
	— 22 — 27.	56,4	30,5	20,9	33,0	21,5
	— 29 — 3.	60,0	30,7	18,5	27,5	17,6
SEPTEMBRE .	Du 5 au 10.	43,4	25,0	16,5	25,6	15,7
	— 12 — 17	47,6	22,6	16,2	28,7	16,9
	— 19 — 24.	51,0	28,5	19,0	29,8	20,5
	— 26 — 1.	50,2	26,7	19,5	26,6	19,9
OCTOBRE. . .	Du 3 au 8.	46,7	25,5	16,5	25,9	18,2
	— 10 — 15.	47,5	26,5	18,2	29,0	20,1
	— 17 — 22.	48,9	28,6	16,7	29,2	20,1
	— 24 — 29.	47,5	24,6	15,7	26,2	18,5
NOVEMBRE. .	Du 31 au 5.	»	»	»	»	»
	— 7 — 12.	52,7	30,0	22,6	32,4	22,6
	— 14 — 19.	41,2	21,5	16,8	28,0	19,0
	— 21 — 26.	44,6	24,4	21,6	22,8	22,2
	— 28 — 3.	56,0	32,4	20,0	32,8	18,8
DÉCEMBRE. .	Du 5 au 10.	24,0	18,8	14,8	16,8	12,7
	— 12 — 17.	55,2	27,2	17,4	20,5	14,8
	— 19 — 24.	58,5	28,4	19,2	28,8	24,4
	— 26 — 31.	60,5	42,4	25,6	41,0	28,2
JANVIER. . .	Du 2 au 9.	»	»	»	»	»
	— 10 — 21.	»	»	»	»	»
	— 21 — 4.	»	»	»	»	»
FÉVRIER. . .	Du 6 au 11.	77,0	58,4	17,4	56,8	26,0
	— 13 — 18.	56,0	57,6	25,0	29,2	25,6
	— 20 — 25.	44,5	31,2	20,0	31,2	22,8
	— 27 — 4.	64,0	42,8	26,4	34,8	25,8
MARS.	Du 6 au 11.	51,0	28,4	17,0	23,8	19,2
	— 13 — 18.	34,0	25,2	19,2	»	»
	— 20 — 25.	19,0	14,8	12,6	»	»
	— 27 — 1.	»	»	»	»	»
AVRIL. . . .	Du 3 au 8.	46,0	24,8	18,8	»	»
	— 10 — 15.	38,0	21,2	17,4	»	»
	— 17 — 22.	»	»	»	»	»
	— 25 — 29.	»	»	»	»	»
MAI.	Du 1 au 6.	38,0	18,0	14,6	»	»
	— 8 — 13.	42,0	»	»	24,4	16,2
	— 15 — 20.	32,0	24,4	21,4	29,6	20,8
	— 22 — 27.	48,5	28,0	18,4	24,2	18,2
	— 29 — 3.	40,5	21,8	16,9	»	»

TABLEAU II.

Oxydabilité (dosage en solution acide).

DATES		BASSIN COLLECTEUR (après fosse septique)	LITS BACTÉRIENS A1 1er CONTACT	LITS BACTÉRIENS A2 2e CONTACT	LITS BACTÉRIENS B1 1er CONTACT	LITS BACTÉRIENS B2 2e CONTACT
AOUT	Du 1 au 6.	48,0	28,4	17,6	31,6	18,7
	— 8 — 13.	65,3	30,4	18,3	32.1	16,7
	— 16 — 20.	67,0	36,1	17,7	38,2	21,2
	— 22 — 27.	65.4	40,3	19,3	37.5	20.7
	— 29 — 3.	67,0	32,4	20,2	36.5	20,7
SEPTEMBRE. .	Du 5 au 10	56,4	30,4	19,0	31.3	19.2
	— 12 — 17.	55,3	29,9	18.2	29.2	19.8
	— 19 — 24.	65,8	34.5	21,4	35,4	21,2
	— 26 — 1.	65,8	34,1	22,9	34.3	23.6
OCTOBRE. . .	Du 3 au 8.	59,0	32,2	19,6	36,3	19.6
	— 10 — 15.	58.8	31,2	20,4	36.0	21,7
	— 17 — 22.	60.9	30.9	19,9	35.1	22,3
	— 24 — 29.	58,2	33,3	29,1	30,6	21,4
NOVEMBRE. .	Du 31 au 5.	»	»	»	»	»
	— 7 — 12.	58.0	31,0	22,5	40,0	27,9
	— 14 — 19.	65,0	32,8	19,4	38.0	22,0
	— 21 — 26.	59,6	28,0	20,0	33,6	20,0
	— 28 — 3.	67.0	33,2	20,8	34,0	22,3
DÉCEMBRE. .	Du 5 au 10.	39,6	26,8	17,6	20,2	17,6
	— 12 — 17.	42,0	33,3	22,8	28,2	20,9
	— 19 — 24.	74.5	35,6	22,8	37,2	20,2
	— 26 — 31.	73,6	43,2	20,8	43,0	22,4
JANVIER. . .	Du 2 au 9.	»	»	»	»	»
	— 10 — 21.	»	»	»	»	»
	— 21 — 4.	»	»	»	»	»
FÉVRIER. . .	Du 6 au 11.	90,0	46,0	23,2	45,2	21,8
	— 13 — 18.	69,0	41,6	21,2	40,0	20,8
	— 20 — 25.	65,5	36,8	22,8	46,4	22,4
	— 27 — 4.	75,5	47,2	23,8	44,0	22,6
MARS	Du 6 au 11.	67,7	46,9	27,8	38,3	28,0
	— 13 — 18.	51,0	34,0	21,6	»	»
	— 20 — 25.	32,0	21,2	15,2	»	»
	— 27 — 1.	»	»	»	»	»
AVRIL. . . .	Du 3 au 8.	65,0	38,4	22,6	»	»
	— 10 — 15.	59,0	34,0	18,8	»	»
	— 17 — 22.	»	»	»	»	»
	— 24 — 29.	»	»	»	»	»
MAI.	Du 1 au 6.	48,0	31,2	19,4	»	»
	— 8 — 13.	61,0	»	»	25,2	20,8
	— 15 — 20.	79,5	45,6	22,2	39,2	22,6
	— 22 — 27	57,0	33,2	22,4	38,4	21,4
	— 29 — 3.	30,0	30,0	18,3	»	»

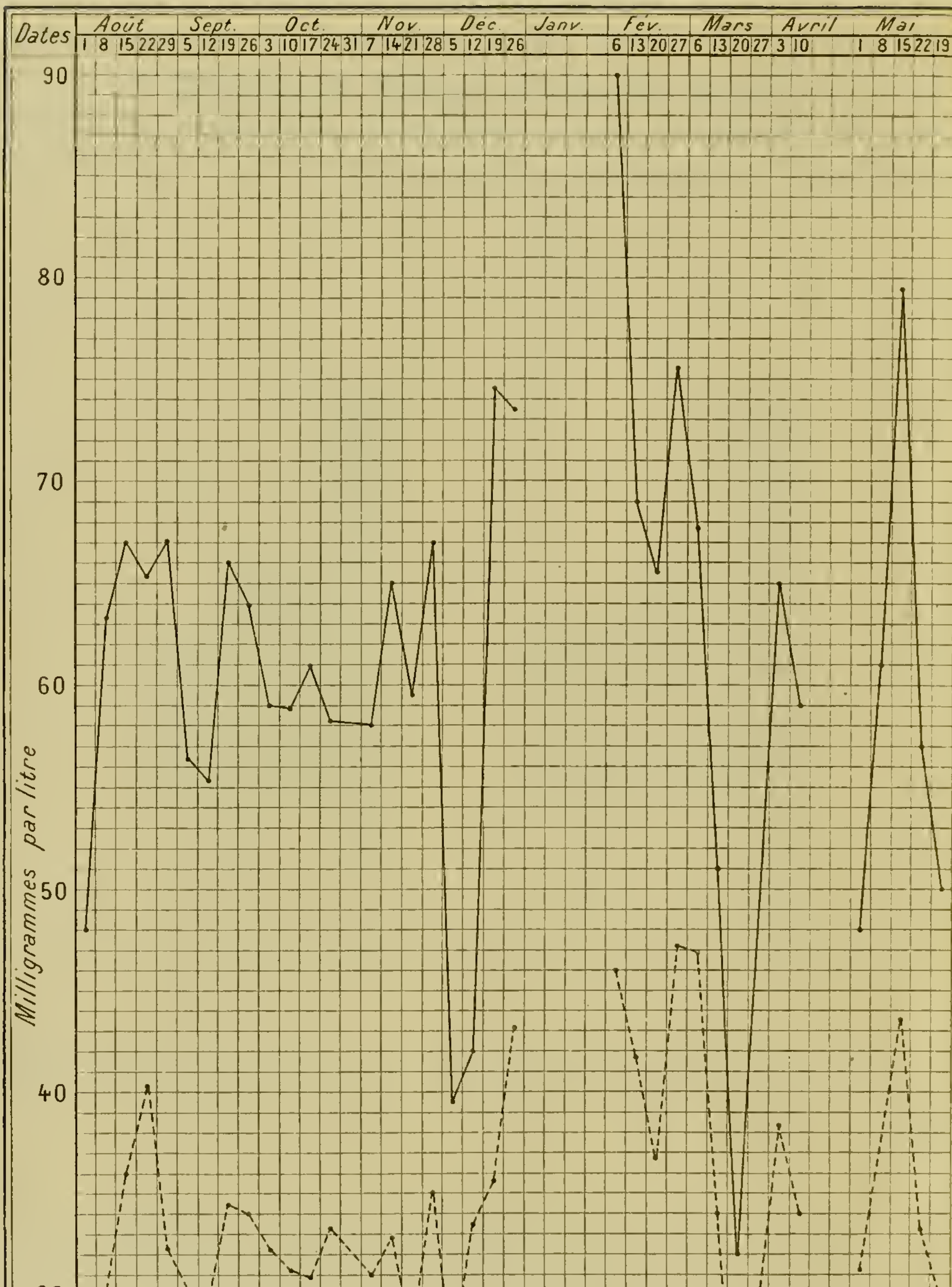
La raison de ce fait est que l'effluent des deuxièmes contacts contient un très grand nombre de microbes provenant des lits bactériens et des substances organiques complexes telles que l'indigo ou des leuco dérivés de couleurs d'aniline



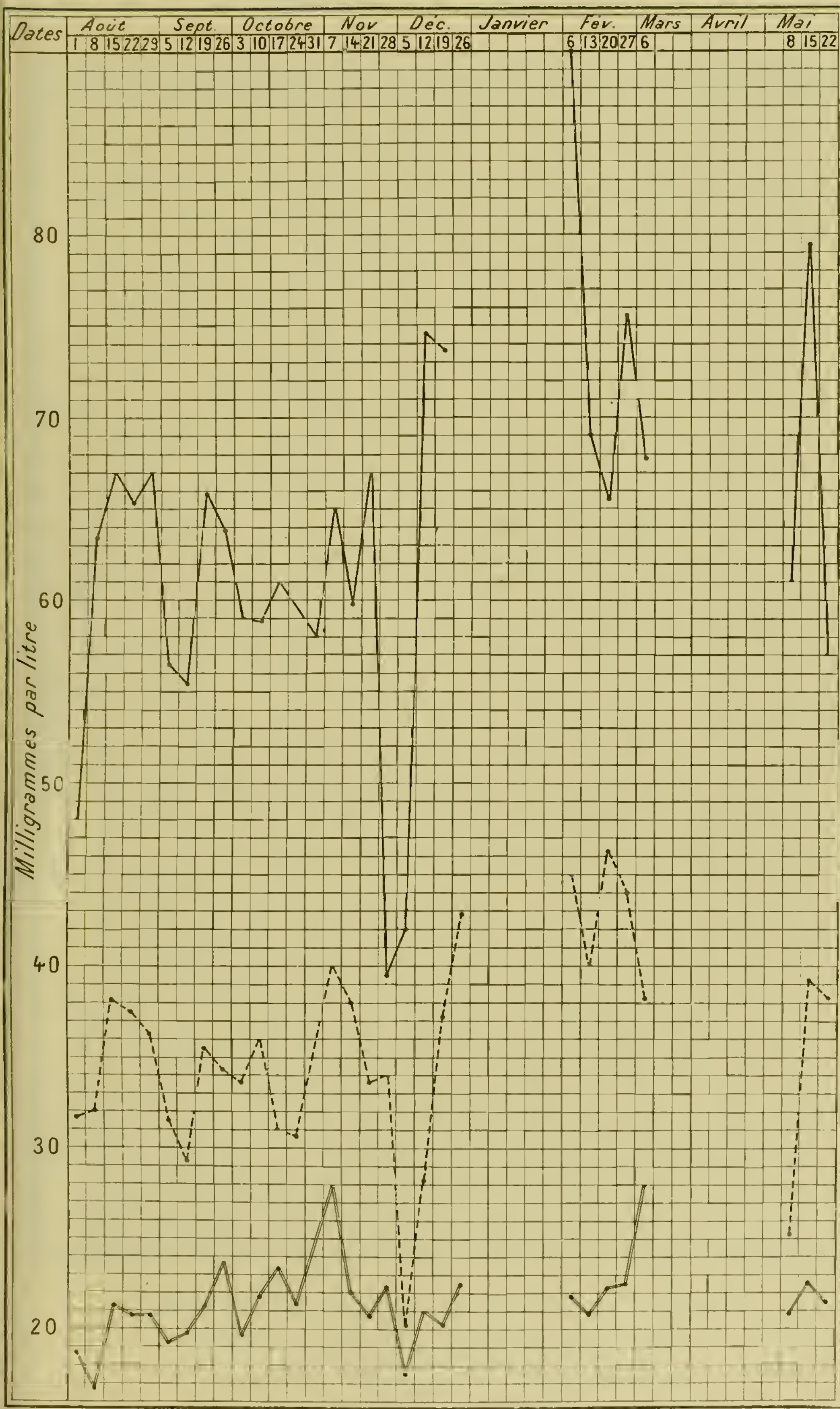
Graphique n° 1. — *Moyennes annuelles de l'oxydabilité* en solutions acide et alcaline.
Partie blanche : solution acide. — Partie grise : solution alcaline.

(déversés par les teintureries) que les microbes ne détruisent pas. Ces substances sont d'ailleurs inoffensives pour les cours d'eau.

II. Détermination de l'oxydabilité par le permanganate en 3 minutes et en 4 heures aussitôt après les prises d'échantillons, et en 3 minutes après 7 jours d'incubation à l'étuve à 30° en flacon hermétiquement clos. — Cette détermination procède de la même réaction que celle du coefficient d'oxydabilité. Les chimistes anglais y ont recours de préférence à la précédente et nous l'avons adoptée parce qu'elle permet d'établir rapidement et avec une approximation assez satisfaisante la marche de l'épuration d'une même eau dans les différentes phases de l'épuration biologique.

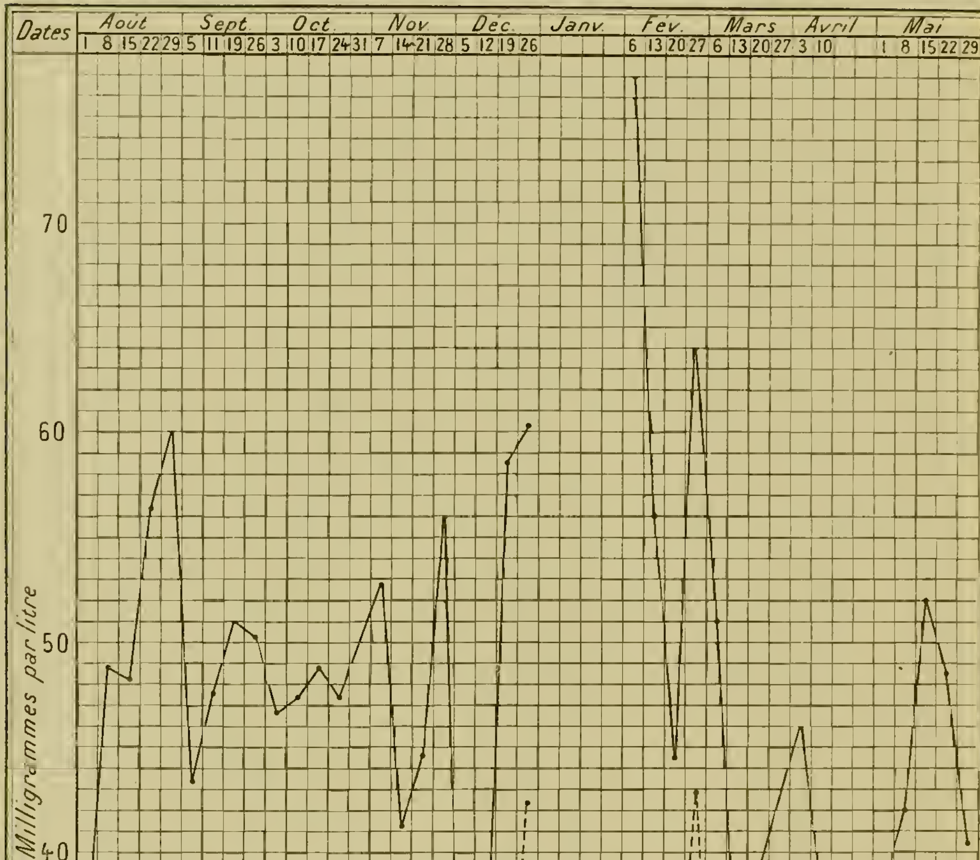


Graphique n° 2. — *Lits* 1 : *Oxydabilité* (Dosage en solution acide).



Graphique n° 5. — *Lits B : Oxydabilité* (dosage en solution acide).

Effluent des fosses septiques — · — Effluent des lits de 1er contact -------- Effluent des lits de 2e contact ═══

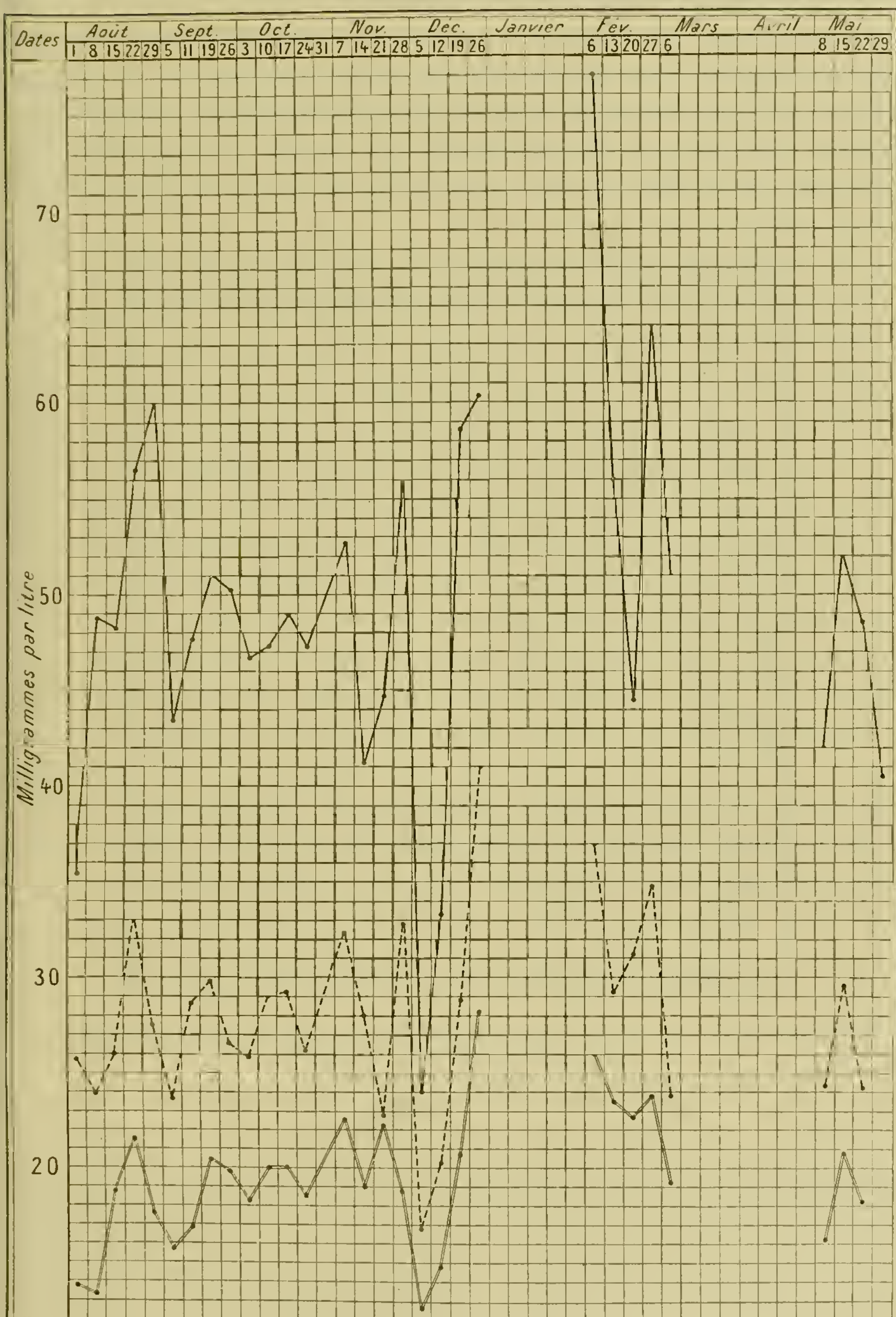


Graphique n° 1. — *Lits A : Oxydabilité* (dosage en solution alcaline).

Effluent des fosses septiques. . . . . ———

— des lits de 1er contact . . . . - - - - - -

— des lits de 2e contact . . . . ═══



Graphique n° 5. — *Lits B : Oxydabilité* (dosage en solution alcaline).

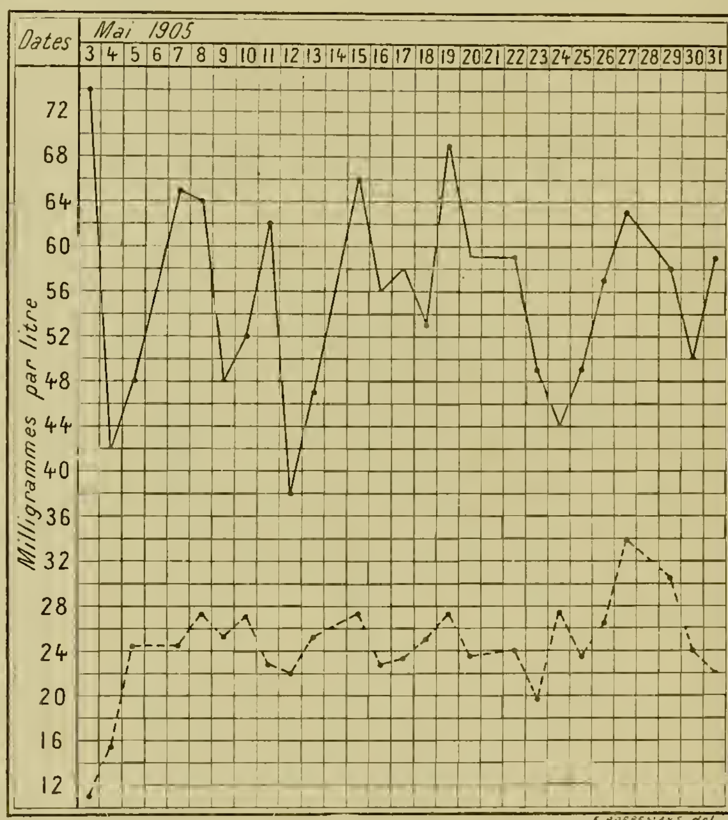
Effluent des fosses septiques. . . . . ———

— des lits de 1er contact . . . . - - - - - - -

— des lits de 2e contact . . . . ═══

On l'effectue de la manière suivante :

On fait agir pendant des temps mesurés (trois minutes ou quatre heures) une solution titrée de permanganate de potassium sur l'eau à analyser qui a été préalablement acidifiée par l'acide sulfurique. Au bout de ces temps, la réaction est arrêtée par l'addition d'une solution d'iodure de potassium.



Graphique n° 6. — Comparaison des méthodes d'évaluation des matières organiques dans l'*effluent des Fosses septiques*.

Oxydabilité : Dosage en solution acide. . . . . . . ————
— — alcaline . . . . . --------

Le permanganate non réduit met en liberté une quantité correspondante d'iode que l'on dose avec une solution titrée d'hyposulfite de soude en présence d'amidon. Par la correspondance des solutions, on a facilement la quantité de permanganate qui a été réduite et on en tire la quantité d'oxygène qui a été absorbée par les matières organiques ou autres oxydables, présentes dans l'eau.

Réactifs. — 1° Solution diluée de permanganate de potas-

sium. C'est la solution employée pour la détermination de l'oxydabilité : 1 centimètre cube correspond à $0^{mgr},1$ d'oxygène ;

2° Solution d'acide sulfurique au cinquième en volume ;

3° Solution d'iodure de potassium à 10 pour 100 ;

4° Empois d'amidon à 2 grammes par litre ;

5° Solution titrée d'hyposulfite de soude. On dissout 7 grammes de ce sel dans un litre d'eau. Cette solution doit être ajustée de façon que 1 centimètre cube corresponde à 2 centimètres cubes de la solution diluée de permanganate. Pour cela, on mélange 50 centimètres cubes d'eau distillée, 10 centimètres cubes d'acide sulfurique dilué et 50 centimètres cubes de solution de permanganate. On ajoute alors goutte à goutte la solution d'iodure de potassium jusqu'à ce que le mélange ait la coloration jaune brun clair de l'iode. Au moyen d'une burette graduée, on verse alors la solution d'hyposulfite jusqu'à coloration jaune pâle. On ajoute quelques gouttes de l'empois d'amidon et on continue à faire couler la solution d'hyposulfite jusqu'à décoloration. Si la solution est exacte, on aura employé 25 centimètres cubes d'hyposulfite ; si l'on n'a pas ce résultat, on ajuste la solution par une dilution convenable.

Cette solution est très altérable, aussi doit-on en préparer peu à l'avance et, en tout cas, la titrer à nouveau chaque jour.

Les réactions utilisées dans ce dosage sont établies par les équations suivantes :

$$5O + 10KI + 5SO^4H^2 = 5SO^4K^2 + 5I^2 + 5H^2O.$$

On dose alors l'iode mis en liberté :

$$5I^2 + 10S^2O^3Na^2 = 5S^4O^6Na^2 + NaI.$$

Quant à la réduction du permanganate par les matières oxydables, la formule en a été donnée pour la détermination de l'oxydabilité.

On fait avec cette méthode trois déterminations :

1° Oxygène absorbé en trois minutes ;

2° Oxygène absorbé en quatre heures ;

3° Oxygène absorbé en trois minutes après sept jours d'incubation à 28°-30°.

1° *Détermination de l'oxygène absorbé en trois minutes.*

Le dosage se fait de la même manière que le titrage de la solution d'hyposulfite.

On mesure 50 centimètres cubes d'eau à analyser, puis 10 centimètres cubes d'acide sulfurique dilué, puis 20 centimètres cubes ou davantage de solution de permanganate. Après trois minutes on ajoute la solution d'iodure et on titre à l'hyposulfite. 1 centimètre cube de la solution d'hyposulfite correspondra à $0^{mgr},2$ d'oxygène.

L'oxygène cédé par le permanganate a servi à oxyder les matières organiques et aussi les sels ferreux, les sulfites, les sulfocyanates, les sulfures, les nitrites, les phénols et dérivés, l'indigo. On peut, si on a une eau résiduaire relativement constante, déterminer la part que chacun de ces composés prend dans ce dosage.

2° *Détermination de l'oxygène absorbé en 4 heures.*

Le dosage est le même que pour la détermination en trois minutes. Il suffit simplement de prolonger l'action du permanganate à la température du laboratoire pendant quatre heures.

L'oxydation des matières organiques par le permanganate, à peine commencée au bout de 3 minutes, est beaucoup plus importante après 4 heures, et la quantité d'oxygène absorbé donne une certaine approximation des substances facilement oxydables, substances capables de se putréfier rapidement. Il est évident que les substances dont on a signalé l'action sur le permanganate en trois minutes agissent de même dans cette détermination.

3° *Détermination de l'oxygène absorbé en trois minutes après incubation. — Indice de putrescibilité.*

Si l'on abandonne un échantillon d'eau contenant des matières organiques dans un flacon bouché à l'émeri et à la température d'une chaude journée d'été, c'est-à-dire de 24° à 30°, il se produit une décomposition des matières organiques par les microorganismes avec dégagement d'odeurs désagréables parmi lesquelles domine l'hydrogène sulfuré. Ce gaz est très facilement oxydé par le permanganate. Tel est le principe de la méthode de M. *Scudder* pour déterminer la putrescibilité.

On fait d'abord la détermination de l'oxygène absorbé en trois minutes sur l'eau au moment de la prise d'échantillon.

On remplit ensuite complètement, avec ce même échantillon, un flacon de 250 centimètres cubes bouché à l'émeri qu'on place dans une étuve à 28°-30°, dans laquelle on le laisse séjourner pendant sept jours. Après ce temps, on détermine de nouveau l'oxygène absorbé en trois minutes.

Par la comparaison des deux résultats obtenus avant et après incubation, on se rend compte de la putrescibilité de l'eau analysée. Si la quantité d'oxygène absorbé croît après les sept jours d'incubation, cela indique la production de substances très facilement oxydables comme l'hydrogène sulfuré, et l'importance de cet accroissement peut servir à mesurer la putréfaction produite. En tout cas, cette différence représente la tendance de l'eau à causer une *nuisance* si elle est exposée à des conditions favorables à la putréfaction. Il faut toutefois signaler une exception : lorsque l'eau renferme des nitrates et un peu de matières organiques, ces nitrates sont réduits en nitrites. Ceux ci absorbent immédiatement l'oxygène du permanganate et il peut arriver dans ce cas, que l'essai après incubation, donne un coefficient d'absorption plus fort qu'avant, bien qu'il n'y ait eu aucune putréfaction. On peut détruire ces nitrites par un peu d'urée en solution acide.

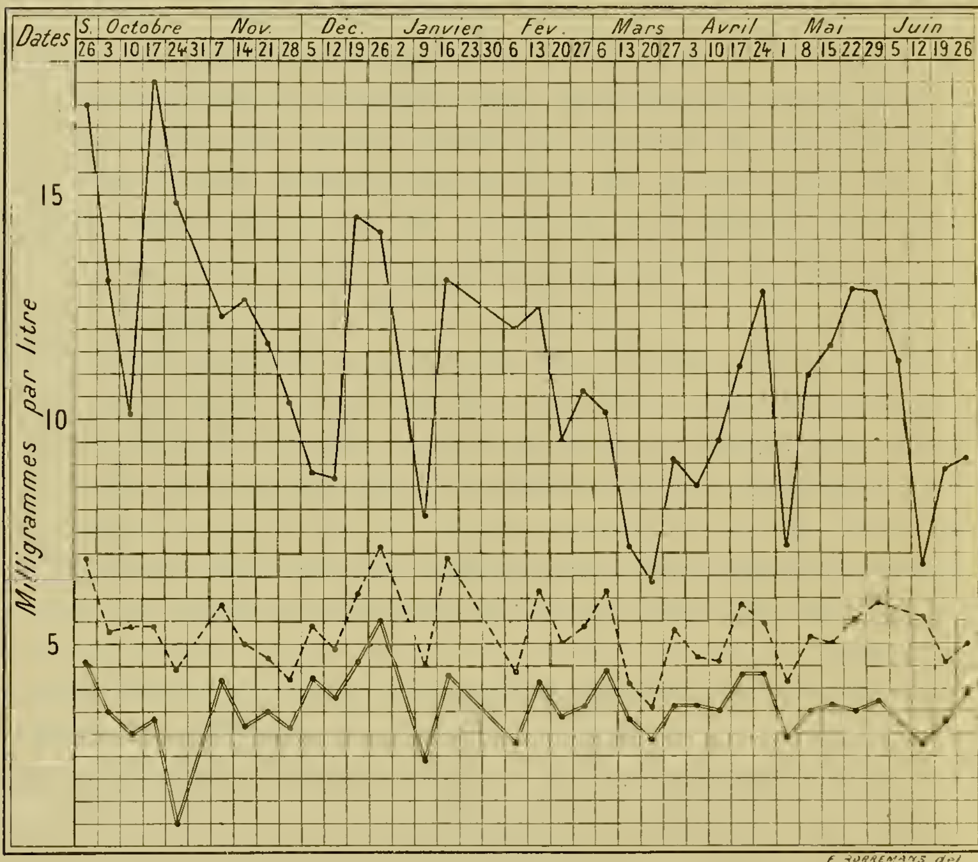
Lorsqu'une eau renferme de l'oxygène et des nitrates, l'essai après incubation donnera des chiffres plus faibles qu'avant incubation, même s'il y a des nitrites. Cette diminution est l'indice d'une purification efficace.

Dans le cas des eaux résiduaires, il peut arriver que celles-ci contiennent des résidus industriels capables de retarder et même d'empêcher la putréfaction. De même, dans les effluents de précipitation chimique, lorsque le réactif est en excès, on peut avoir un effluent stérile. Cependant, comme ces eaux peuvent, dans certaines conditions, subir des fermentations subséquentes, on les soumet alors à l'essai suivant :

On mélange l'eau à analyser avec un volume égal ou supérieur de l'eau du cours d'eau dans lequel devra se rendre l'effluent et on soumet ce mélange à l'incubation. L'effet des substances stérilisantes est alors diminué ou complètement écarté et la putréfaction se déclare si l'eau n'est pas suffisam-

ment purifiée. Une épreuve-témoin devra, bien entendu, être effectuée dans chaque cas avec l'eau du cours d'eau sans addition d'eau chimiquement épurée.

Résultats. — Nous présentons sous forme de tableau et de graphiques (*tableau III, graphique* 7, 8, 9, 10, 11 et 12), les



Graphique n° 7. — *Lits A : Oxygène absorbé en 3 minutes.*

Effluent des fosses septiques. . . . . . . ————
— des lits de 1er contact . . . . . . - - - - - - - -
— des lits de 2e contact. . . . . . . ══════

moyennes hebdomadaires et les moyennes générales de nos dosages relatifs à l'effluent des fosses septiques et des lits bactériens A¹ et B¹ de premier contact, A² et B² de second contact.

Ces graphiques montrent d'une façon très nette que la plus grande partie des matières susceptibles d'être oxydées par le permanganate de potassium en *trois minutes*, est retenue et détruite pendant le *premier contact*.

Tableau III. — **Oxygène absorbé en 3 minutes.**

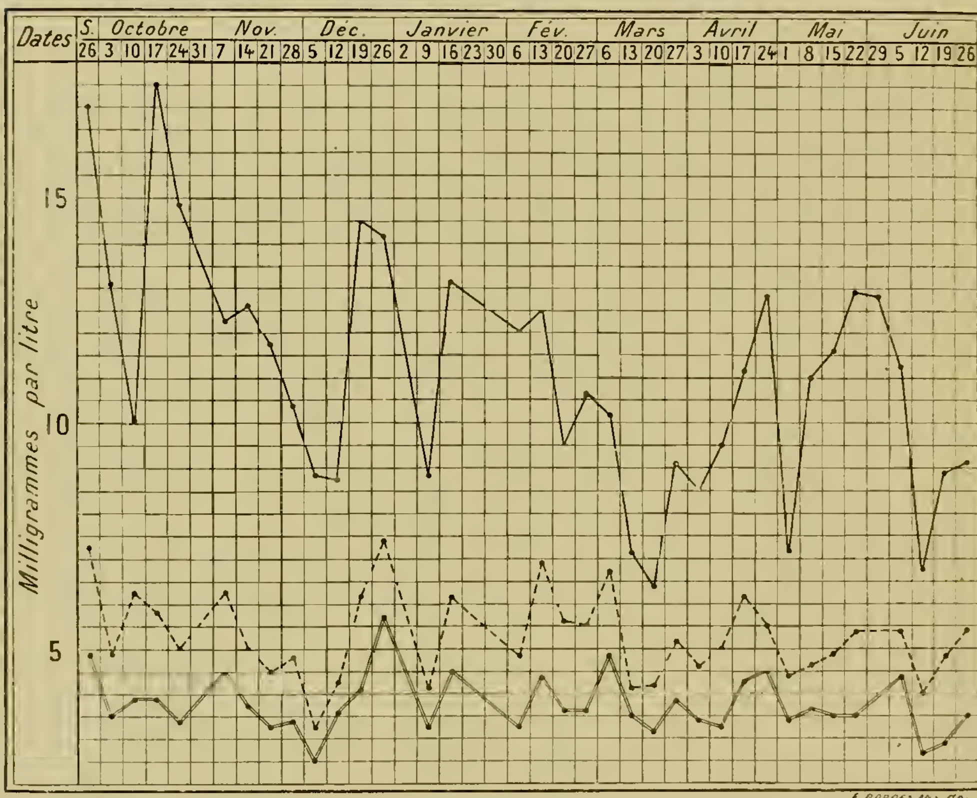
a) avant incubation. — *b*) après incubation.

Dates		Bassin collecteur (après fosse septique.)		Lits bactériens A1 1er contact		Lits bactériens A2 2e contact		Lits bactériens B1 1er contact		Lits bactériens B2 2e contact	
		a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
Septembre.	Du 5 au 10.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	— 12 — 17.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	— 19 — 24.	»		»	»	»	»	»	»	»	»
	— 26 — 1.	17,0	10.75	6,9	4,1	4,6	3,4	7,3	4,2	4,9	2,8
Octobre. .	Du 3 au 8.	13,1	8,7	5,3	3,9	3,5	2.8	4.9	4,8	3.5	4,1
	— 10 — 15.	10.1	8.5	5,4	3,9	3,0	3,6	6,3	3.0	3.9	5,0
	— 17 — 22.	17,1	8,0	5,4	4,8	3,3	4,0	5.8	4.0	3.9	2,9
	— 24 — 30.	14.8	7.4	4,4	3,4	1,05	3,1	5,05	3,5	3.4	2,9
Novembre .	Du 31 au 5.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	— 7 — 12.	12.3	8,5	5,8	5,0	4 2	2,3	6,3	5,2	4,5	2,8
	— 14 — 19.	12,6	11,0	5,0	3,0	3,2	2,1	5,0	3,5	3,7	2,6
	— 21 — 26.	11,7	9,5	4,7	3,7	3,5	2,1	4,5	4,3	3,3	2,3
	— 28 — 3.	10.4	10.5	4,2	2,7	3,1	2,3	4,8	3,3	3,4	1,8
Décembre .	Du 5 au 10.	8,8	10.7	5,4	3,8	4,3	2,6	5,5	4.0	2,5	1,9
	— 12 — 17.	8,7	10,0	4,9	4,4	3,8	2,0	4,3	2.5	3,6	1,2
	— 19 — 24.	14,3	17,2	6,1	6,0	4,6	2,6	6,2	7,9	4,1	3,2
	— 26 — 31.	14,2	31,9	7,2	13,6	5,5	4,1	7,4	10,6	5,7	4,5
Janvier. . .	Du 2 au 7.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	— 9 — 14.	7,8	19,5	4,5	4,4	2,4	2,6	4,1	6,1	3,3	2,6
	— 16 — 21.	13,1	13,8	6,9	8,7	4,3	2,3	6,2	5,8	4,5	2,2
	— 23 — 4.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Février . .	Du 6 au 11.	12.0	11,0	4,4	5,6	2,8	2,9	4,8	7.0	3.3	3,0
	— 13 — 18.	12.5	17,4	6,2	6,0	4,2	3,8	6,9	8,0	4.4	3,9
	— 20 — 25.	9,5	17.0	5,0	4,2	3,4	2,3	5,6	6,2	3.6	3,0
	— 27 — 4.	10,6	17.7	5.4	5,6		2,2	5,5	6.8	3.6	1,9
Mars. . . .	Du 6 au 11.	10,2	18,7	6,2	5,7	4,4	4,0	6,7	6.9	4,8	4,0
	— 13 — 18.	7,1	11,0	4,1	5,8	3,3	2,4	4,1	4,0	3,5	2,8
	— 20 — 25.	6,4	11,2	3,6	2,6	2,9	1,8	4,2	5,6	3,2	2,0
	— 27 — 1.	9,1	14,1	5,3	4,8	3,6	2,7	5,3	5.2	3,8	2,3
Avril. . . .	Du 3 au 8.	8,5	17.0	4,7	5,0	3,6	3,5	4,8	4,7	3,4	3,5
	— 10 — 15.	9.5	16,8	4,6	4,4	3,5	2,9	5,0	5,4	3,3	2.6
	— 17 — 22.	14,2	18,4	5,8	4,8	4,3	2,7	6,2	7,5	4,3	2,9
	— 24 — 29.	12,8	21,2	5,5	4,6	4,3	2,6	5,5	6,3	4,5	2,5
Mai	Du 1 au 6.	7,2	24,4	4,2	4,3	2,9	1,9	4,4	5,0	3,4	1,5
	— 8 — 13.	11,0	29,2	5,2	4,5	3,5	2,6	4,7	6,7	3,7	2,9
	— 15 — 20.	11,6	31.5	5,0	7,7	3,6	3,6	4,9	9.9	3,5	3,6
	— 22 — 27.	12,9	39,9	5,5	17,2	3,5	6,9	5,4	14,3	3,5	5,7
	— 29 — 3.	12,8	33,2	5,9	10,4	3,7	3,6	»	»	»	»
Juin	Du 5 au 11.	11,3	31,8	»	»	»	»	5,1	10,6	4,4	4,4
	— 13 — 18.	6,7	30,6	5,6	7,2	2,7	2,4	4,0	8,4	2,7	3,2
	— 20 — 25.	8,9	32,2	4,6	4,9	3,3	3,1	4.8	7,1	2,9	2,7
	— 27 — 2.	9,1	25,4	5,0	5,5	3,9	3,0	5,4	5.9	3,5	2,9

Lors du deuxième contact, la quantité de ces substances qui se trouve éliminée est beaucoup moins considérable.

Ils montrent, en outre, que l'épuration se poursuit généralement dans les échantillons de ces eaux épurées que l'on conserve en vase clos à l'étuve à 30°.

III. **Dosage de l'azote ammoniacal et organique.** — A. *Ammo-*



Graphique n° 8. — *Lits B : Oxygène absorbé en 5 minutes.*

Effluent des fosses septiques . . . . . . ————
— des lits de 1er contact . . . . . - - - - - - -
— des lits de 2e contact . . . . . ═════

niaque libre ou saline. — La quantité d'ammoniaque que renferment les eaux à la sortie de nos fosses septiques est naturellement très variable suivant la qualité et la quantité des matières azotées rejetées par les égouts.

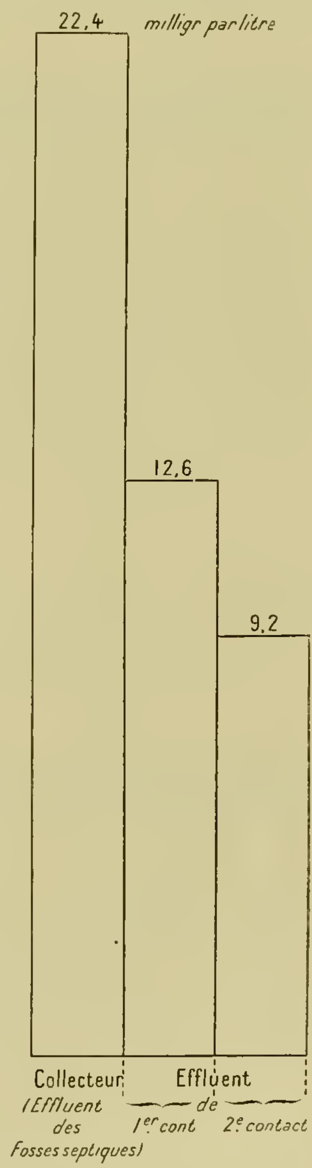
Nous l'avons dosée d'après les méthodes usuelles, soit directement, soit après distillation.

On sait que lorsque l'eau contient, (comme c'était notre cas pour l'eau brute ou sortant des fosses septiques) des

matières colorantes, des aldéhydes, acétones, hydrates de carbone, etc., il est indispensable de ne faire la détermination que sur le produit distillé. Pour cela, on distille une certaine quantité d'eau en présence de magnésie en léger excès, on recueille l'ammoniaque dans une solution d'acide sulfurique titrée et on dose l'acide non saturé par une solution de soude correspondante. On en déduit la quantité d'ammoniaque. Lorsque cette quantité est faible, on la dose volumétriquement, comme nous le verrons plus loin, après avoir amené le distillat à un volume connu.

Le dosage direct est plus rapide et s'emploie toujours lorsque l'eau ne contient aucun des composés pouvant nuire à la détermination, ce dont on s'assure par un dosage comparatif après distillation.

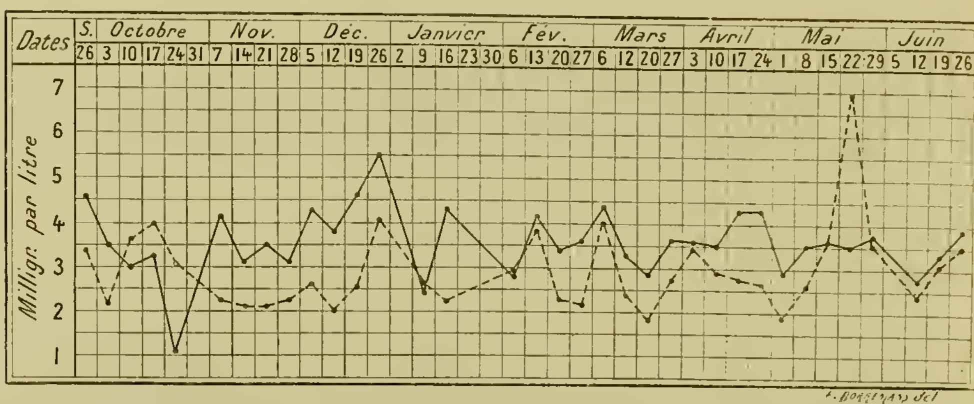
La méthode colorimétrique est basée sur la coloration jaune orangée que donne le réactif de *Nessler* dans les eaux qui contiennent de l'ammoniaque. Si la quantité d'ammoniaque est trop grande, le réactif donne un précipité. Aussi, par des solutions convenables, doit-on se tenir toujours en deçà de ces quantités, et pour que la méthode soit plus rigoureuse, on ne fait agir le réactif que sur des eaux ou des dilutions contenant environ 2 milligrammes d'ammoniaque par litre.



Graphique n° 9.
Oxygène absorbé en 4 heures.
Moyennes annuelles.
Lits A et B.

Réactifs : 1° *Réactif de Nessler*. — On triture, dans un mortier en verre, $15^{gr},55$ de bichlorure de mercure avec 57 grammes d'iodure de potassium, et on dissout le mélange dans 700 centimètres cubes d'eau distillée ajoutée peu à peu. Cette solution est additionnée de 500 centimètres cubes de lessive

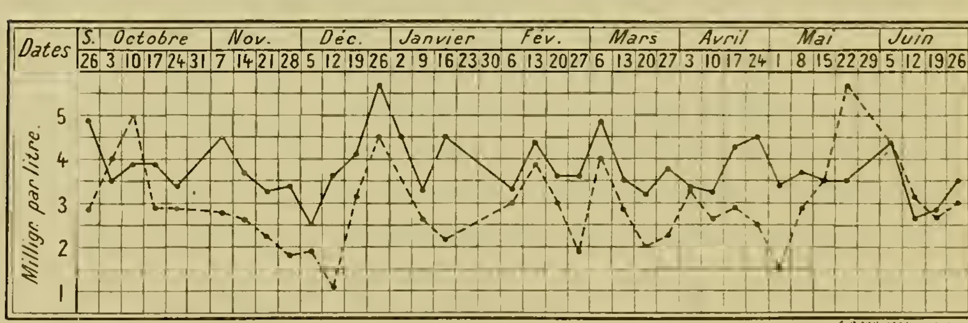
de soude à 36° Bé. On verse alors, en agitant après chaque addition, une solution saturée de bichlorure de mercure jusqu'à ce que le précipité obtenu commence à ne plus se redissoudre. On laisse reposer et on décante. Ce réactif doit être conservé dans des flacons jaunes, à l'abri de la lumière : il



Graphique n° 10. — *Lits A : Oxygène absorbé en 3 minutes*, avant et après incubation.

sera comparé avec un réactif préparé antérieurement et donnant de bons résultats.

2° *Solution titrée d'ammoniaque.* — On dissout, dans 1 litre d'eau distillée, $0^{gr},3147$ de chlorhydrate d'ammoniaque pur et



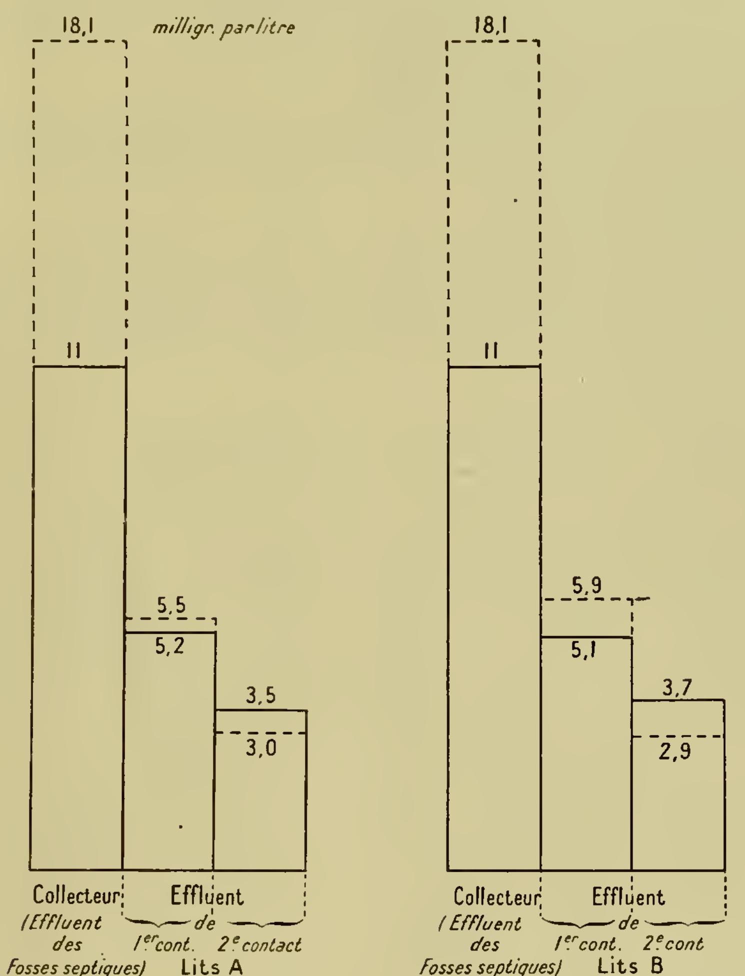
Graphique n° 11. — *Lits B : Oxygène absorbé en 3 minutes* avant et après incubation.

sec. 10 centimètres cubes de cette solution renferment 1 milligramme d'ammoniaque.

3° *Solution type d'ammoniaque.* — 20 centimètres cubes de la solution précédente sont portés à 1 litre par addition d'eau distillée. Cette solution contient 2 milligrammes d'ammoniaque par litre.

4° *Solution alcaline.* — On dissout 200 grammes de soude

caustique à l'alcool et 200 grammes de carbonate de soude pur dans 600 centimètres cubes d'eau distillée environ, dans une capsule en porcelaine. On porte à l'ébullition pour chasser l'ammoniaque, jusqu'à ce qu'on n'obtienne plus de



Graphique n° 12. — *Oxygène absorbé en 3 minutes.* Moyennes annuelles. Avant incubation (trait plein) et après incubation (trait pointillé).

coloration par le réactif de *Nessler*. On laisse refroidir et on complète le volume à 1 litre.

Dosage colorimétrique. — On ajoute à 100 centimètres cubes d'eau 1 centimètre cube de solution alcaline pour précipiter les sels alcalino-terreux; on laisse déposer et on décante. On a ainsi, dans la plupart des cas, un liquide limpide et incolore. De ce liquide décanté, on prend une quantité convenable, c'est-à-dire une quantité qui, portée à 50 centimètres

cubes, donnera par addition de 1 centimètre cube de réactif de Nessler une coloration d'une intensité analogue à celle que l'on obtiendra en ajoutant à 50 centimètres cubes de solution type d'ammoniaque 1 centimètre cube de ce réactif.

Après environ une heure, on compare au colorimètre les deux colorations obtenues et par une proportion on déduit la quantité d'ammoniaque par litre.

Pour une série d'analyses sur des échantillons variant dans des limites étroites, on détermine, une fois pour toutes, les dilutions convenables.

Les résultats sont donnés en ammoniaque.

Lorsque l'eau à analyser contient de l'hydrogène sulfuré, on a soin de le neutraliser par l'addition d'acétate de zinc ou de plomb, puis on ajoute la solution alcaline qui précipitera l'excès de réactif.

Résultats. — Le *tableau IV et les graphiques nos* 13 et 14, résumant les moyennes générales de l'année, montrent que, le plus souvent, la quantité d'ammoniaque libre ou saline retenue pendant le premier contact est plus importante que celle retenue par le deuxième contact, et cependant nous verrons plus loin que la quantité de nitrates formés dans les lits de premier contact est toujours assez faible, comparativement avec celle des lits de deuxième contact.

Il n'y a donc aucune proportionnalité entre l'ammoniaque disparue et la quantité de nitrates formés. La raison de ce fait est que les lits bactériens, particulièrement ceux de premier contact, sont le siège de fermentations complexes qui dégagent une partie de l'azote à l'état gazeux. Les proportions d'azote qui disparaissent ainsi seront établies par des études ultérieures.

B. *Azote organique. Méthode d'analyse.* — Pour doser l'azote organique (qu'il ne faut pas confondre avec l'azote albuminoïde dont on évalue une partie par le procédé Wanklyn et Chapman), on fait un dosage de l'azote total par la méthode de Kjehldahl avec la modification apportée par Ulsch qui élimine l'azote nitreux et nitrique. Le résultat, dont on retranche l'azote ammoniacal dosé au préalable, donne l'*azote organique.*

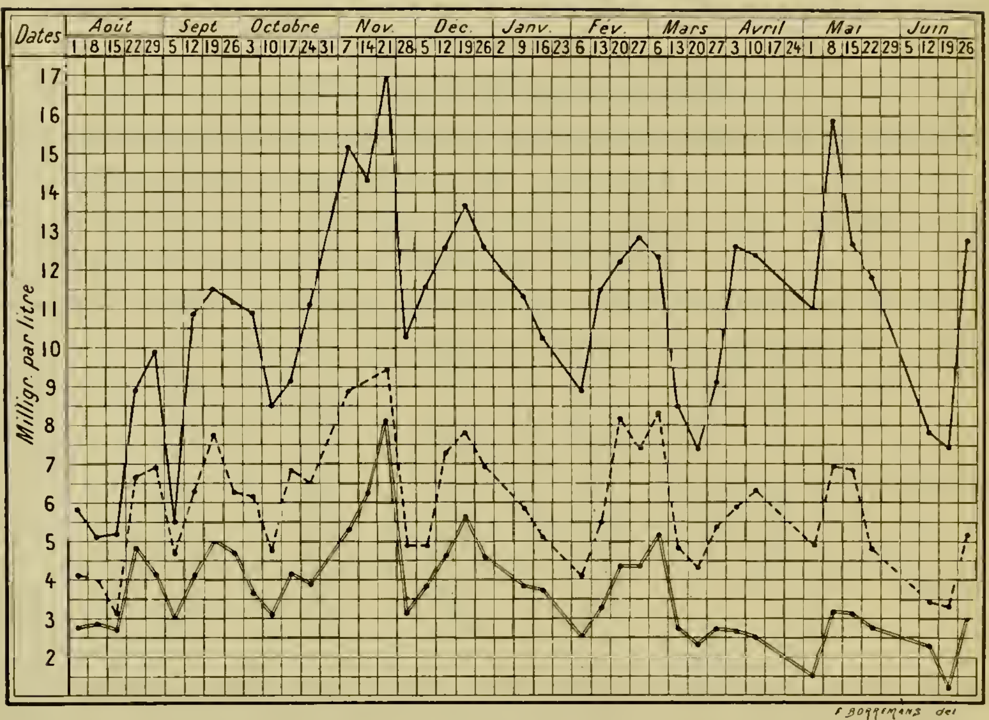
On verse dans un ballon en verre d'Iéna de 700 centimètres

TABLEAU IV.

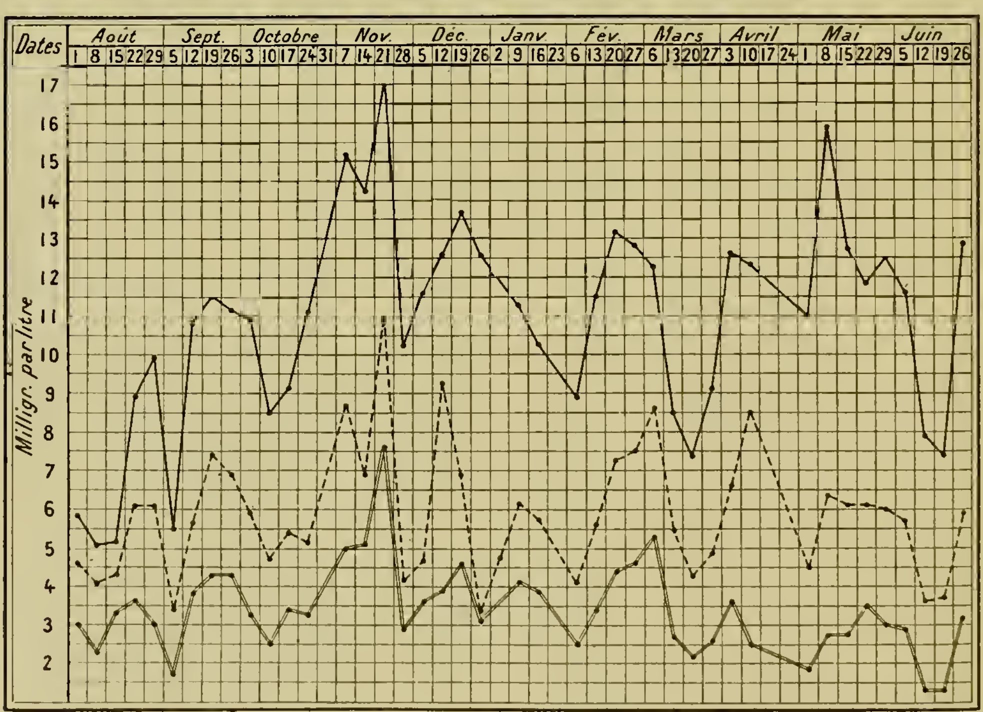
Ammoniaque libre ou saline.

DATES		BASSIN COLLECTEUR (après fosse septique).	LITS BACTÉRIENS		LITS BACTÉRIENS	
			A1 1er CONTACT	A2 2e CONTACT	B1 1er CONTACT	B2 2e CONTACT
AOUT. . . .	Du 1 au 6.	5,8	4,6	3,0	4,1	2,7
	— 8 — 13.	5.1	4,1	2,3	4,0	2,8
	— 16 — 20.	5,2	4,3	3,3	3,2	2,7
	— 22 — 27.	8,9	6,1	3,6	6,7	4,8
	— 29 — 3.	9,9	6,1	3,0	6,9	4,1
SEPTEMBRE.	Du 5 au 10.	5,5	3,4	1,7	4,7	3,0
	— 12 — 17.	10,8	5,7	3,8	6,3	4,1
	— 19 — 24.	11,5	7,4	4,3	7,7	5,0
	— 26 — 1.	11,2	6,9	4,3	6,3	4,7
OCTOBRE . .	Du 3 au 8.	10,9	5,9	3,3	5,2	3,6
	— 10 — 15.	8,5	4,7	2,5	4,8	3,1
	— 17 — 22.	9,2	5,4	3,4	6,8	4,2
	— 24 — 29.	11,1	5,2	3,3	6,5	3,9
NOVEMBRE .	Du 31 au 5.	»	»	»	»	»
	— 7 — 12.	15,2	8,7	5,0	8,9	5,3
	— 14 — 19.	14,3	6,9	5,1	9,2	6,3
	— 21 — 26.	17,0	10,9	7,6	9 4	7,6
	— 28 — 3.	10,3	4,2	2,9	4,9	3,1
DÉCEMBRE .	Du 5 au 10.	11,6	4,7	3,6	4,9	3,8
	— 12 — 17.	12,6	9,3	3,9	7,3	4,6
	— 19 — 24.	13,7	6,9	4,6	7,8	5,6
	— 26 — 31.	12,6	3,4	3,1	6,9	4,9
JANVIER . .	Du 2 au 7.	»	»	»	»	»
	— 9 — 14.	11,3	6,2	4,1	5,8	3,8
	— 16 — 21.	10,3	5,7	3,9	5,1	3,7
	— 23 — 4.	»	»	»	»	»
FÉVRIER . .	Du 6 au 11.	8,9	4,1	2,5	4,7	2,9
	— 13 — 18.	11,5	5,6	3,4	5,5	3,3
	— 20 — 25.	13,2	7,3	4,4	8,2	4,4
	— 27 — 4.	12,8	7,5	4,6	7,4	4,4
MARS. . . .	Du 6 au 11.	12,3	8,6	5,3	8,3	5,2
	— 13 — 18.	8,5	5,5	2,7	4,3	2,7
	— 20 — 25.	7,4	4,3	2,2	4,3	2,3
	— 27 — 1.	9,1	4,9	2,6	5,4	2,7
AVRIL. . . .	Du 3 au 8.	12,6	6,6	3.4	5,9	2,6
	— 10 — 15.	12,4	6,5	2,5	6,3	2,5
	— 17 — 22.	»	»	»	»	»
	— 23 — 29.	»	»	»	»	»
MAI	Du 1 au 6.	11,0	4,5	1,8	4,9	1,9
	— 8 — 13.	13,8	6,4	2,7	6,9	3,2
	— 15 — 20.	12,7	6,1	2,7	6,8	3,1
	— 22 — 27.	11,8	6,1	3,5	4,8	2,7
	— 29 — 3.	12,5	6,0	3,0	»	»
JUIN	Du 5 au 10.	11,6	5,7	2,9	»	»
	— 13 — 17.	7,8	3,6	1,3	3,4	3,3
	— 19 — 24.	7,4	3,7	1,3	3,3	1,2
	— 27 — 2.	12,8	5,9	3,2	5,2	3,0

Lits A



Lits B



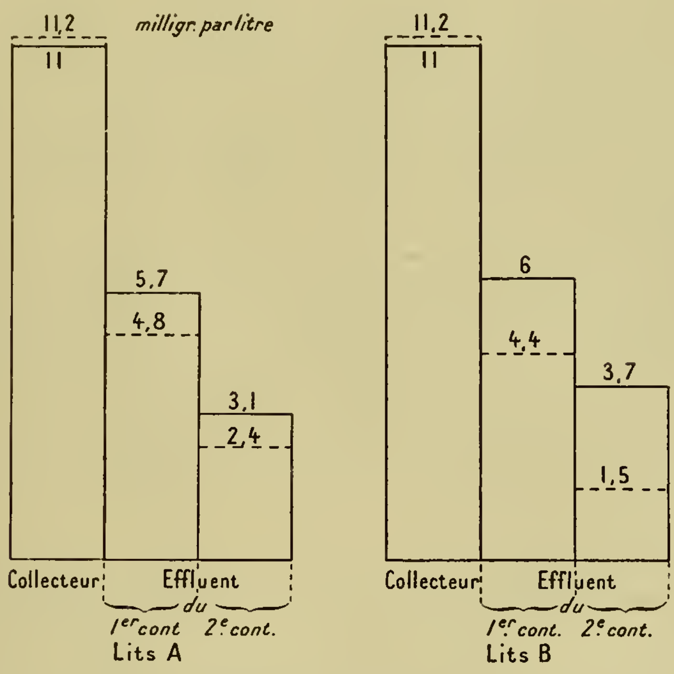
Graphique n° 13. — Ammoniaque libre ou saline.

Eau sortant des fosses septiques . . ————

Après le 1er contact . . . . - - - - - - -

Après le 2e contact . . . . ═════

cubes de capacité, 250 centimètres cubes d'eau filtrée avec 5 centimètres cubes d'acide sulfurique pur à 1/5, environ 50 centigrammes de chlorure ferreux, et autant de bisulfite de soude cristallisé, avec quelques morceaux de pierre ponce pour régulariser l'ébullition. On évapore à feu nu jusqu'à réduction à environ 50 centimètres cubes, et on laisse refroidir ; on ajoute 10 à 20 centimètres cubes d'acide sulfurique pur (suivant la quantité de matières organiques contenues dans les eaux), et



Graphique n° 14. — Ammoniaque libre ou saline (moyennes générales annuelles).

Avant incubation . . . . ————

Après incubation . . . . --------

on chauffe jusqu'à production de fumées blanches. On ajoute alors 10 centigrammes d'oxyde noir de cuivre et, s'il y a beaucoup de matières organiques, 5 gouttes de solution de chlorure de platine à 1/10. On ferme le ballon avec une ampoule de verre, et on chauffe jusqu'à coloration vert clair. Après refroidissement, le liquide doit être incolore.

On ajoute alors environ 250 centimètres cubes d'eau distillée, puis 40 à 80 centimètres cubes de lessive de soude à 36 degrés Baumé, et on distille l'ammoniaque que l'on recueille dans un vase contenant 10 centimètres cubes de solution

titrée d'acide sulfurique telle que ces 10 centimètres cubes soient saturés par 1 centigramme d'ammoniaque.

Lorsqu'on a distillé plus de la moitié, on titre l'acide en excès en prenant comme indicateur la teinture de cochenille. Le nombre de centimètres cubes d'acide qui a été combiné à l'ammoniaque, multiplié par 4, donne la quantité d'azote en ammoniaque par litre. Retranchant l'ammoniaque libre ou saline dosée d'autre part, on a l'azote organique exprimé en ammoniaque.

Résultats. — Les quantités d'azote organique contenues dans l'effluent des fosses septiques varient de $7^{mgr},9$ (minimum) à $24^{mgr},5$ (maximum). Après les lits de contact, ces quantités sont parfois notablement diminuées, mais il semble que c'est surtout la qualité de la matière azotée qui influe sur le taux d'élimination.

L'azote organique restant après le deuxième contact ne se détruit qu'avec de grandes difficultés : il doit être apparemment constitué par des substances très stables qui n'ont aucune tendance à la putréfaction, puisque le taux d'ammoniaque après l'incubation (7 jours à 30 degrés en vase clos), est toujours plus faible qu'avant sa mise à l'étuve. (*Tableau V et VI, graphiques* 15 et 16).

IV. **Dosage des nitrites.** — Les eaux d'égout traitées par les lits bactériens ne renfermant en général que de très faibles quantités de nitrites. Nous avons eu recours pour leur dosage rapide aux méthodes colorimétriques dont la précision est loin d'égaler la méthode de Schlœsing modifiée par Müntz; mais qui nous permettaient d'obtenir des indications suffisamment comparables.

La méthode que nous avons choisie repose sur la coloration rouge-orange produite par les nitrites sur le chlorhydrate de métaphénylène-diamine en présence de l'acide sulfurique.

Réactifs : 1° Solution de chlorhydrate de métaphénylène-diamine à 1 pour 100. (Cette solution se colore très rapidement à la lumière, aussi doit-on la conserver dans des flacons jaunes et la décolorer soigneusement au noir animal au moment de l'emploi.)

2° Solution d'acide sulfurique pur au tiers en volume.

TABLEAU V.

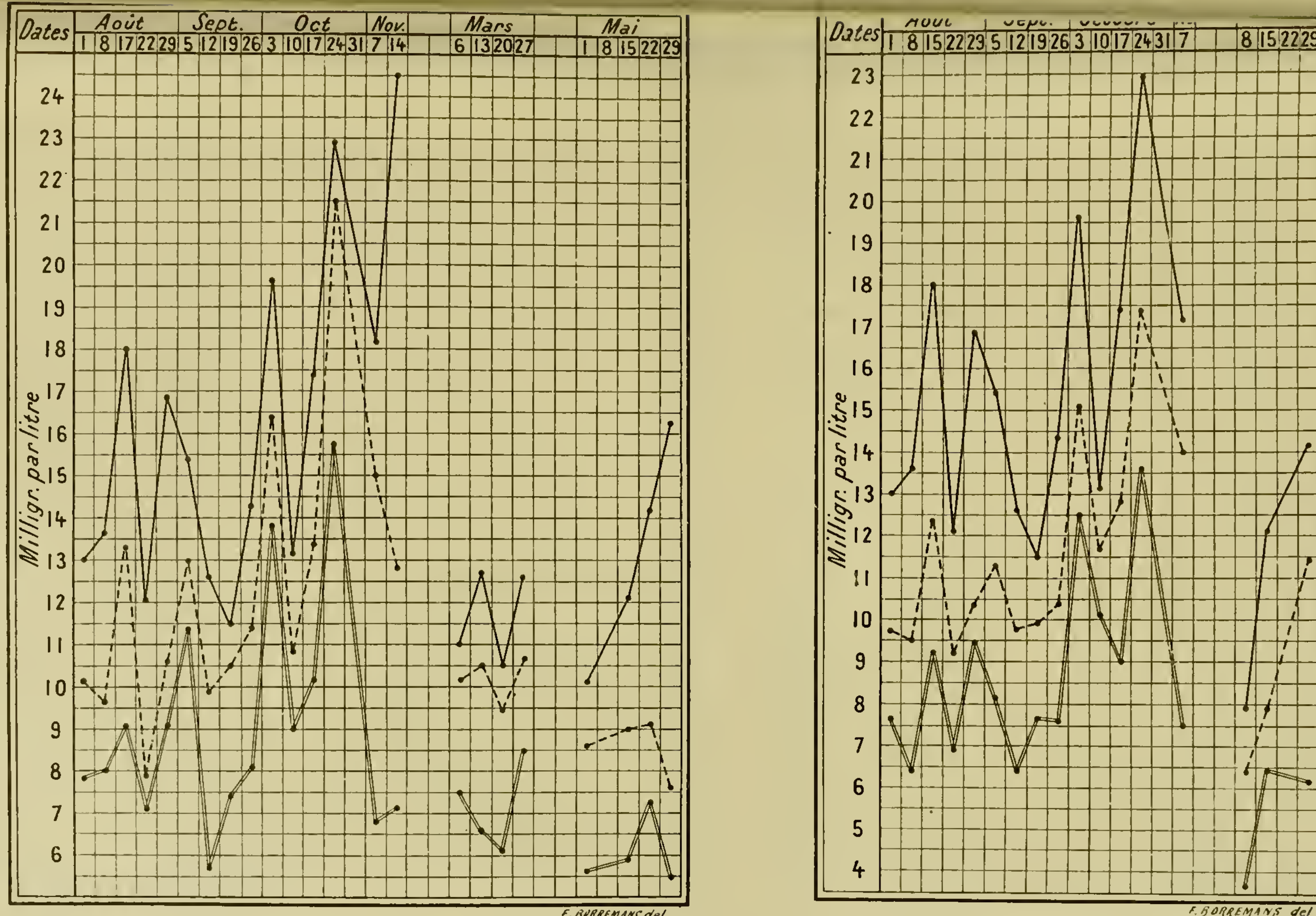
Azote organique en ammoniaque.

DATES		BASSIN COLLECTEUR (après fosse septique).	LITS BACTÉRIENS		LITS BACTÉRIENS	
			A1 1er CONTACT	A2 2e CONTACT	B1 1er CONTACT	B2 2e CONTACT
AOUT. . . .	Du 1 au 6.	13,0	10,2	7,8	9,7	7,7
	— 8 — 13.	13,6	9,7	8,0	9,5	6,4
	— 16 — 20.	18 0	13,3	9,0	12,3	9,2
	— 22 — 27.	12,1	7,9	7,1	9,2	6,9
	— 29 — 3.	16,8	10,6	9,1	10,4	9,5
SEPTEMBRE .	Du 5 au 10.	15,4	13,0	11,4	11,3	8,2
	— 12 — 17.	12,6	9,9	5,7	9,7	6,4
	— 19 — 24.	11,5	10,5	7,4	9,9	7,7
	— 26 — 1.	14.3	11,4	8,1	10,4	7,6
OCTOBRE . .	Du 3 au 8.	19,6	16,4	13,8	15,1	12,5
	— 10 — 15.	13,2	10,8	9,0	11,7	10,1
	— 17 — 22.	17,4	13,4	10,2	12,8	9.0
	— 24 — 29.	22,9	21,5	15,7	17,4	13,6
NOVEMBRE..	Du 31 au 5.	»	»	»	»	»
	— 7 — 12.	17,2	15,0	6,8	14,0	7,5
	— 14 — 19.	24,5	12,8	7,1	»	»
	— 21 — 26.	»	»	»	»	»
	— 28 — 3.	»	»	»	»	»
DÉCEMBRE. .	Du 5 au 10.	»	»	»	»	»
	— 12 — 17.	»	»	»	»	»
	— 19 — 24.	»	»	»	»	»
	— 26 — 31.	»	»	»	»	»
JANVIER. . .	Du 2 au 7.	»	»	»	»	»
	— 9 — 14.	»	»	»	»	»
	— 16 — 21.	»	»	»	»	»
	— 23 — 4.	»	»	»	»	»
FÉVRIER . .	Du 6 au 11.	»	»	»	»	»
	— 13 — 18.	»	»	»	»	»
	— 20 — 25.	»	»	»	»	»
	— 27 — 4.	»	»	»	»	»
MARS. . . .	Du 6 au 11.	11,0	10,2	7,5	9,0	7,2
	— 13 — 18.	12,7	10,5	6,6	»	»
	— 20 — 25.	10,5	9,5	6,1	»	»
	— 27 — 1.	12,6	10,7	8,5	»	»
AVRIL . . .	Du 3 au 8.	»	5,0	3,8	»	»
	— 10 — 15.	»	»	»	»	»
	— 17 — 22.	»	»	»	»	»
	— 25 — 29.	»	»	»	»	»
MAI. . . .	Du 1 au 6.	10,1	8,6	5,6	»	»
	— 8 — 13.	7,9	»	»	6,4	3,7
	— 15 — 20.	12,1	9,0	5,9	7,9	6,4
	— 22 — 27.	14,2	9,1	7,3	11,6	6,2
	— 29 — 3.	16,3	7,6	5,5	»	»

TABLEAU VI.

Ammoniaque libre ou saline après incubation.

DATES		BASSIN COLLECTEUR (après fosse septique).	LITS BACTÉRIENS A1 1er CONTACT	LITS BACTÉRIENS A2 2e CONTACT	LITS BACTÉRIENS B1 1er CONTACT	LITS BACTÉRIENS B2 2e CONTACT
SEPTEMBRE.	Du 5 au 10.	»	»	»	»	»
	— 12 — 17.	»	»	»	»	»
	— 19 — 24.	»	»	»	»	»
	— 26 — 1.	7,5	4,7	0,6	4,5	2,2
OCTOBRE . .	Du 3 au 8.	11,3	2,6	0	1,2	0,6
	— 10 — 15.	7,6	3,1	1,2	3,3	0,1
	— 17 — 22.	9,0	5,6	0	4,2	0,4
	— 24 — 29.	17,7	8,4	4,3	8,8	4,1
NOVEMBRE .	Du 31 au 5.	21,4	9,8	6,6	12,9	7,0
	— 7 — 12.	14,5	6,7	4,3	9,0	3,9
	— 14 — 19.	11,7	6,0	2,2	5,9	2,0
	— 21 — 26.	13,6	7,5	4,8	8,1	4,0
	— 28 — 3.	10,2	4,9	2,1	4,7	2,5
DÉCEMBRE. .	Du 5 au 10.	12,3	5,4	3,9	4,5	3,4
	— 12 — 17.	12,1	5,6	2,3	5,6	3,2
	— 19 — 24.	15,9	8,9	5,0	9,0	5,5
	— 26 — 31.	16,7	8,5	4,8	8,5	5,5
JANVIER. . .	Du 2 au 7.	»	»	»	»	»
	— 9 — 14.	14,2	6,7	4,8	7,0	4,0
	— 16 — 21.	10,9	9,0	5,6	6,4	3,8
	— 23 — 28.	»	»	»	»	»
	— 30 — 4.	»	»	»	»	»
FÉVRIER. . .	Du 6 au 11.	14,4	5,4	3,0	6,0	4,4
	— 13 — 18.	16,6	8,4	5,1	10,5	5,3
	— 20 — 25.	11,6	5,6	3,6	6,1	2,4
	— 27 — 4.	14,7	9,0	3,7	8,8	4,0
MARS. . . .	Du 6 au 11.	13,65	8,6	4,2	8,5	4,0
	— 13 — 18.	9,1	4,9	2,6	5,2	2,5
	— 20 — 25.	9,6	5,1	1,8	6,0	2,0
	— 27 — 1.	13,0	7,3	2,5	7,3	3,1
AVRIL . . .	Du 3 au 8.	12,1	5,6	2,8	5,3	1,9
	— 10 — 15.	8,7	4,1	2,1	4,9	1,7
	— 17 — 22.	»	»	»	»	»
	— 25 — 29.	»	»	»	»	»
MAI.	Du 1 au 6.	12,7	6,5	2,3	7,9	2,0
	— 8 — 13.	10,0	4,0	2,1	5,5	2,1
	— 15 — 20.	8,6	5,2	1,8	7,6	3,3
	— 22 — 27.	12,3	7,3	3,8	6,8	3,5
	— 29 — 3.	9,5	6,2	3,9	»	»
JUIN.. . . .	Du 5 au 10.	14,0	6,6	2,9	»	»
	— 13 — 17.	9,2	3,4	1,1	3,4	1,2
	— 19 — 24.	6,5	2,9	1,4	3,3	1,1



Lits A Graphique n° 15. — Ammoniaque organique. Lits B

Effluent des fosses septiques ——— Effluent après le 1er contact -------- Effluent après le 2e contact ═══

5° Solution titrée de nitrite : on dissout dans 500 centimètres cubes d'eau distillée 0 gr. 406 de nitrite d'argent pur; on en précipite l'argent par un léger excès de chlorure de sodium pur et on porte à un litre. On laisse déposer et on décante. 10 centimètres cubes de cette solution renferment 1 milligramme d'Az^2O^3.

Dosage. — On commence par établir, comme pour le dosage



Graphique n° 16. — Ammoniaque organique (moyennes générales annuelles).

des nitrates, une échelle colorimétrique; mais comme la coloration n'est pas directement proportionnelle à la quantité de nitrite, on prépare d'abord avec la solution type des solutions contenant de 1 à 10 milligrammes d'Az^2O^3 par litre.

A 50 centimètres cubes de chacune de ces solutions on ajoute 1 centimètre cube de métaphénylène-diamine, 1 centimètre cube de solution d'acide sulfurique et on mélange. La coloration atteint son maximum au bout d'une heure. On garde ces solutions dans une série de tubes colorimétriques.

Dans des tubes semblables on traite les eaux à essayer par les mêmes réactifs et, après une heure, on compare les colorations obtenues avec celles de l'échelle colorimérique. Si ces colorations sont trop intenses pour être comparées, on opère de nouveau sur des dilutions plus étendues.

Pour plus de précision, on peut s'astreindre à n'employer que des dilutions capables de fournir des colorations très voisines de celle obtenue avec une solution type à 2 *milligrammes* d'Az^2O^3 par litre, et les comparer au colorimètre comme pour le dosage de l'ammoniaque par la méthode de Nessler.

Résultats. — Dans toutes nos analyses, la proportion de nitrites existant dans l'effluent des lits bactériens de premier ou de second contact était tellement faible que nous ne l'avons vue atteindre que très exceptionnellement de 1 à 3 milligrammes par litre. Nous avons donc trouvé superflu de dresser des courbes pour indiquer les variations de chiffres aussi faibles.

V. **Dosage des nitrates.** — La multiplicité des dosages que nous avions à effectuer quotidiennement nous a empêché d'employer, autrement qu'à titre exceptionnel, le procédé de *Schlœsing*. Nous avons dû adopter celui, très rapide et commode de *Grandval* et *Lajoux* qu'emploie le laboratoire du Comité consultatif d'hygiène de France. Il est basé sur la formation d'acide picrique par l'action de l'acide nitrique sur l'acide phénique en présence d'acide sulfurique. Par addition d'ammoniaque, on produit ensuite du picrate d'ammoniaque dont la coloration est assez intense.

En présence de quantités notables de matières organiques, la carbonisation partielle de celles-ci par l'acide sulfurique donne une coloration brune qui gêne la réaction. Mais cet inconvénient n'existe qu'avec les eaux brutes ou les effluents des fosses septiques qui ne contiennent, ainsi que nous l'avons déjà montré, que des doses très faibles de nitrates.

Les chlorures, lorsqu'ils sont assez abondants, peuvent aussi fausser les résultats. On évite cette erreur en les précipitant au préalable par un léger excès de sulfate d'argent.

Réactifs. — 1° Réactif sulfo-phénique. On dissout avec pré-

caution 15 grammes d'acide phénique neigeux dans 185 grammes d'acide sulfurique pur bouilli, en évitant l'élévation de température.

2° Solution titrée de nitrate de potassium : on dissout 0 gr. 936 de ce sel dans un litre d'eau distillée. 10 centimètres cubes de cette solution contiennent 5 milligrammes d'Az^2O^5.

3° Solution d'ammoniaque au tiers.

4° Solution de sulfate d'argent pur à 4.40 pour 100. 1 centimètre cube de cette solution précipite 0 gr. 01 de chlore.

Dosage. — Dans une petite capsule de porcelaine on mesure 10 centimètres cubes de la solution titrée de nitrate de potassium, on évapore au bain-marie et après dessiccation et refroidissement on ajoute 1 centimètre cube de réactif sulfophénique. On mélange bien exactement le résidu avec le réactif et on ajoute 5 centimètres cubes d'eau distillée, puis 10 centimètres cubes d'ammoniaque au tiers. On verse le liquide jaune ainsi obtenu dans une fiole jaugée de 500 centimètres cubes et après avoir rincé à plusieurs reprises la capsule à l'eau distillée on complète le volume à 500 centimètres cubes. On a ainsi une solution type à 10 milligrammes d'Az^2O^5 par litre.

C'est cette solution qui va servir à établir une échelle colorimétrique.

Dans une série de dix tubes de même diamètre posés sur un support, on mesure de 1 à 10 centimètres cubes de la solution type, puis on amène par addition d'eau distillée le volume dans chaque tube à 50 centimètres cubes.

Pour doser les nitrates dans l'eau à analyser, on en mesure 10 centimètres cubes dans une capsule; on précipite les chlorures (dosés au préalable) par un léger excès de sulfate d'argent, et on évapore au bain-marie. Après dessiccation et refroidissement, on ajoute le réactif sulfophénique, puis l'ammoniaque comme ci-dessus, et on porte le volume de la solution à 50 centimètres cubes.

On verse ces 50 centimètres cubes dans un tube semblable à ceux de l'échelle colorimétrique et on compare la coloration avec celle de cette échelle. On peut aussi faire la comparaison au colorimètre.

Résultats. — Pendant les deux premières semaines après la

mise en fonctionnement de nos lits bactériens, en juillet 1904, l'effluent des lits de second contact et à plus forte raison celui des lits de premier contact, ne renfermaient pas de nitrates. Ceux-ci n'ont commencé à apparaître après le deuxième contact qu'à partir du 1er août et seulement en octobre dans l'effluent du premier contact.

La nitrification est dès lors devenue de plus en plus active, et nous avons pu suivre ses variations suivant la teneur de l'eau brute en matières organiques ou en ammoniaque et suivant les influences extérieures (saisons, pluies, neige, froid) pendant toute une année (*Tableau VII*, *graphiques* 17, 18, 19).

A partir d'octobre 1904, la teneur en nitrates des eaux épurées après le second contact s'est élevée progressivement de 4 à 24 milligrammes par litre jusqu'à la fin de décembre. Pendant les froids de janvier et février, le taux oscille entre 9 et 18. Il s'élève de nouveau en mars pour atteindre en juin le maximum que nous ayons obtenu : 44 milligrammes. A cette époque, l'effluent du premier contact accusait déjà 29 milligrammes de nitrates.

L'abaissement de la température de l'air ralentit nettement la nitrification, mais les températures les plus basses que nous ayons observées pendant l'hiver 1904-1905 (soit —8°, avec une moyenne de —0.6 du 16 au 25 janvier 1905) n'ont pas manifesté d'influence fâcheuse sur la marche des lits (*Graph.* 20 et 21).

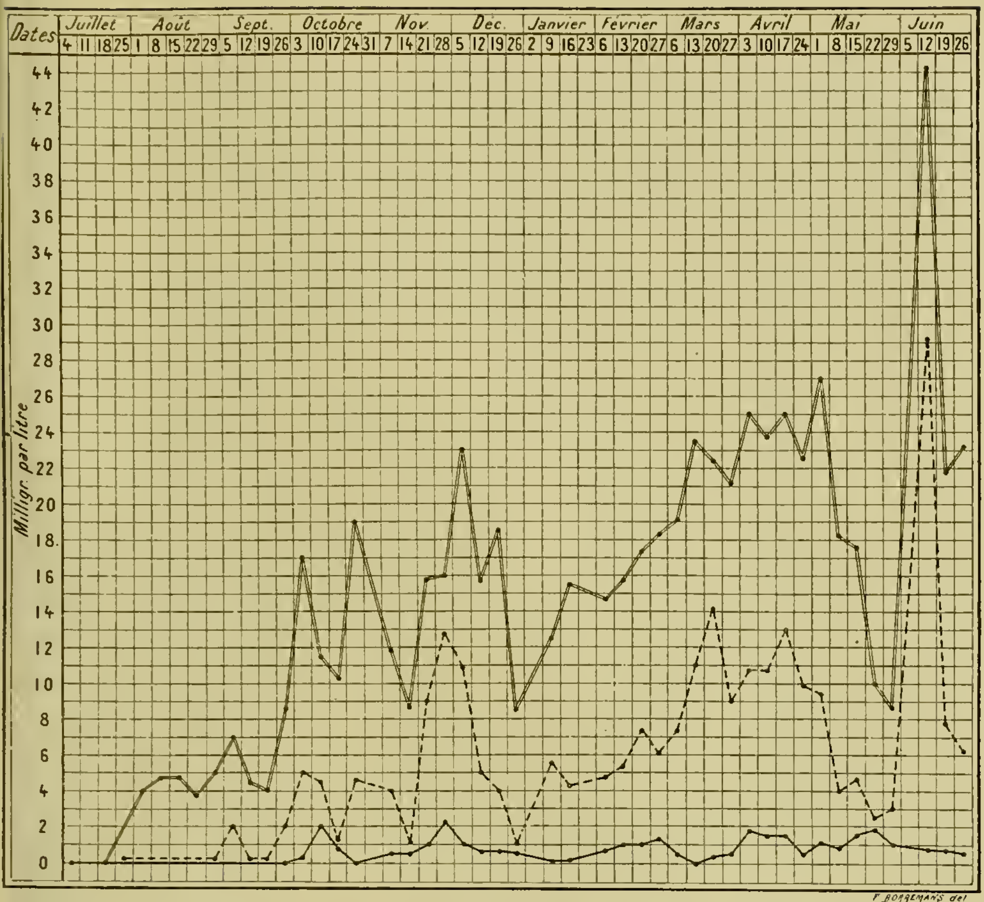
Il est remarquable de constater d'ailleurs que la température à l'intérieur des lits est toujours beaucoup plus élevée que la température atmosphérique. C'est ainsi que, pendant la semaine la plus froide, du 16 au 25 janvier, le thermomètre extérieur marquant —0.6 en moyenne, la moyenne des températures enregistrées dans les lits de premier contact était de +8° 4 et celle des lits de deuxième contact de +5° 8.

On pouvait supposer, d'autre part, que les pluies influeraient défavorablement sur la marche de la nitrification puisqu'elles gênent la pénétration de l'air dans les scories pendant les périodes d'aération des lits (*Graph.* 22). L'expérience prouve qu'il n'en est rien : du 5 au 12 décembre par exemple, il est tombé 55 millimètres de pluies et la moyenne des nitrates

Tableau VII.

Nitrates en Az^2O^5.

DATES		BASSIN COLLECTEUR (après fosse septique).	LITS BACTÉRIENS		LITS BACTÉRIENS	
			A1 1er CONTACT	A2 2e CONTACT	B1 1er CONTACT	B2 2e CONTACT
Aout. . . .	Du 1 au 6.	0	0	4	0	3,5
	— 8 — 13.	0	tr.	4,6	tr.	6,5
	— 16 — 20.	0	tr.	4,5	tr.	3,5
	— 22 — 27.	0	tr.	3,8	tr.	5.5
	— 29 — 3.	0	tr.	5,0	tr.	4,5
Septembre.	Du 5 au 10.	0	2	7,0	tr.	5,5
	— 12 — 17.	0	tr.	4,4	1,1	4,1
	— 19 — 24.	0	tr.	4,1	tr.	2,5
	— 26 — 1.	0	2	8,6	1,5	7,6
Octobre. .	Du 3 au 8.	0,4	5,0	17,0	3,8	13,0
	— 10 — 15.	2,1	3,6	10,2	5,3	12,7
	— 17 — 22.	0,8	1,2	10,2	2,0	11,6
	— 24 — 29.	0	4,6	19,0	3,4	18,6
Novembre .	Du 31 au 5.	»	»	»	»	»
	— 7 — 12.	0,5	4,5	11,9	3,4	10,7
	— 14 — 19.	0,5	1,5	8,6	2,4	6,6
	— 21 — 26.	1,1	9,0	15,8	6,7	15,9
	— 28 — 3.	2,2	12,8	16,0	6.9	12.6
Décembre .	Du 5 au 10.	1,1	10,9	23,1	7,7	16,2
	— 12 — 17.	0,6	5,0	15,5	5,4	13,0
	— 19 — 24.	0,7	4,0	18,5	3,0	19,7
	— 26 — 31.	0,6	1,0	8,6	5,6	7,8
Janvier . .	Du 2 au 7.	»	»	»	»	»
	— 9 — 14.	tr.	5,5	12,5	7,0	16,3
	— 16 — 21.	tr.	4,2	15.4	5,1	13,5
	— 23 — 4.	»	»	»	»	»
Février . .	Du 6 au 11.	0,7	4,7	14,7	4,0	14,0
	— 13 — 18.	1,0	5,3	15,8	3,5	18,0
	— 20 — 25.	1,0	7,3	17,4	4.5	13,0
	— 27 — 4.	1,3	6,1	18,3	5,5	16,9
Mars. . . .	Du 6 au 11.	0,5	7,3	19,1	5,3	12,4
	— 13 — 18.	tr.	11,1	23,3	9,1	17,9
	— 20 — 25.	0,4	14,1	22 4	9,7	22,0
	— 27 — 1.	0,5	8,9	21,2	5,3	18,6
Avril . . .	Du 3 au 8.	1,7	10,6	25,0	11,5	27.3
	— 10 — 15.	1,4	10,7	25,8	5,4	20,5
	— 17 — 22.	1,3	13,0	25,0	6,3	18,6
	— 25 — 29.	0,5	9,9	22,5	3,6	17,1
Mai	Du 1 au 6.	1,1	9,4	27,0	4,5	20,0
	— 8 — 13.	0,8	4,0	18,2	7,9	20.0
	— 15 — 20.	1,5	4,6	17.6	2,4	16,0
	— 22 — 27.	1,8	2,5	10,0	3,7	11,0
	— 29 — 3.	1,1	3,0	8,7	»	»
Juin	Du 5 au 10.	1,4	»	»	9,2	32,0
	— 13 — 17.	0,8	28,6	44,3	11,8	20,9
	— 19 — 24.	0,8	7,7	21,9	7,6	22,4
	— 27 — 2.	0,7	6,2	23,2	11,9	29,1



Lits A

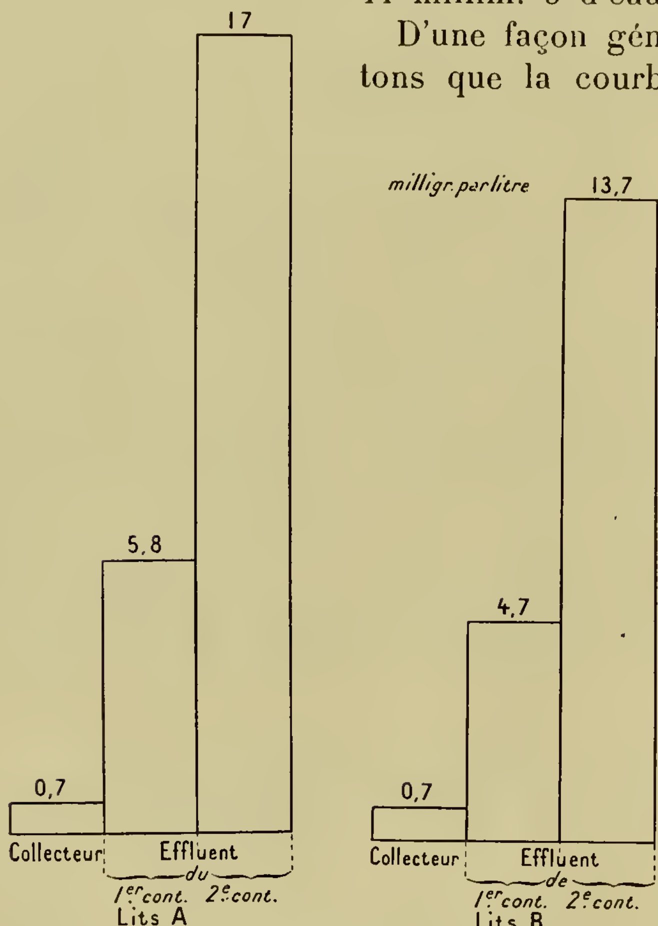


Lits B

Graphique n° 17. — Nitrates. — Effluent des fosses septiques ———
Effluent après le 1er contact - - - - - -   Effluent après le 2e contact ═════

formés a été de 25 milligrammes. Nous trouvons le même chiffre à peu près (25 milligr. 4) pour la semaine du 15 au 20 mars, pendant laquelle le pluviomètre enregistreur a accusé 44 millim. 5 d'eau.

D'une façon générale, nous constatons que la courbe générale des nitrates est à peu près celle de l'ammoniaque à nitrifier, tandis que, plus le taux de matières organiques s'élève, plus celui des nitrates formés est bas (*Graph.* 19).

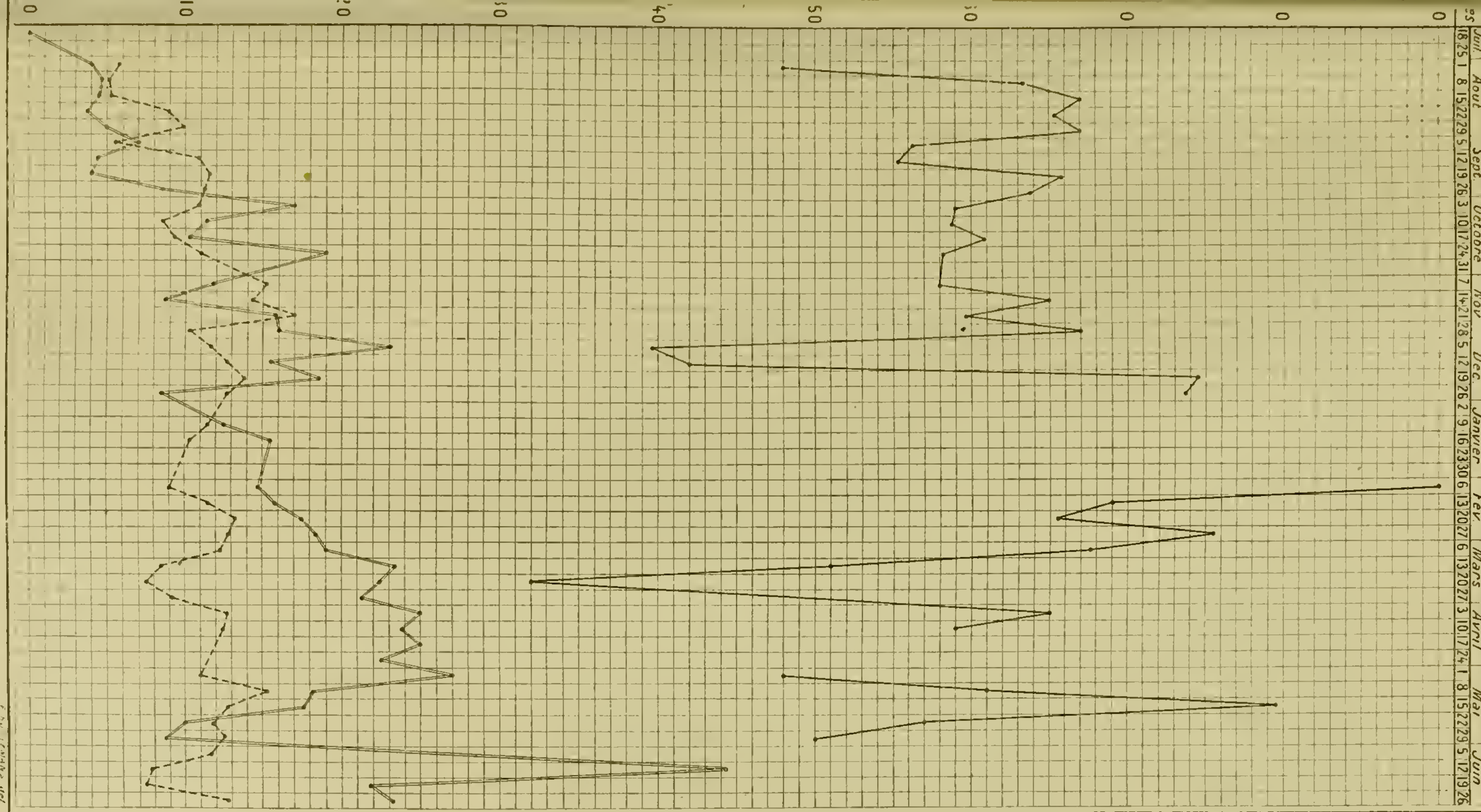


Graphique n° 18.
Nitrates (moyennes générales annuelles).

La meilleure nitrification s'observe avec une, deux ou trois immersions des lits par 24 heures. Pendant le mois de mai 1905, nous avons immergé les lits 4 *fois par 24 heures* : nous constations alors que le taux des nitrates allait s'abaissant. Voici du reste les moyennes relevées :

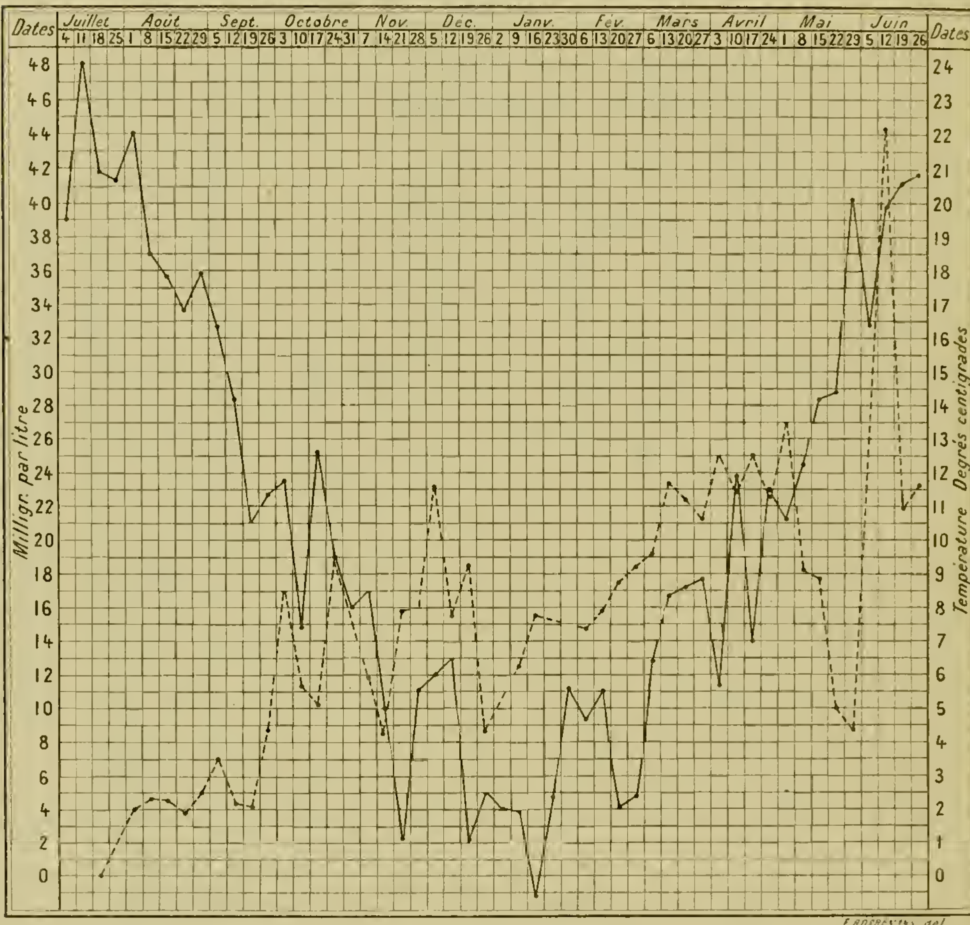
	Nitrates	
	1er contact.	2e contact.
	—	—
Une immersion par 24 heures.	9mgr,4	27mgr
Deux immersions par 24 heures. . . .	2mgr,5	10mgr
Trois — —	4mgr,6	17mgr,6
Quatre — —	5mgr	8mgr,7

Le repos prolongé des lits pendant plusieurs jours de suite exerce une influence favorable et permet de restituer à un lit surmené par un trop grand nombre d'immersions successives,



Graphique n° 19. — Influence de la proportion de *matières organiques* oxydables au permanganate et de la proportion d'*ammoniaque libre ou saline* sur la marche de la nitrification dans les lits bactériens. — Oxydabilité en solution acide dans l'effluent des fosses septiques ———
Ammoniaque libre ou saline -------- Nitrates dans l'effluent des lits A de 2e contact ═══

le pouvoir épurant qu'il avait perdu. Les taux de nitrification que nous avons relevés pour deux lits de premier et de second



Graphique n° 20. — *Nitrates*. — Influence de la température extérieure sur la marche de la nitrification dans les lits bactériens.

Température. . . . . ————

Nitrates formés. . . . . - - - - - - - -

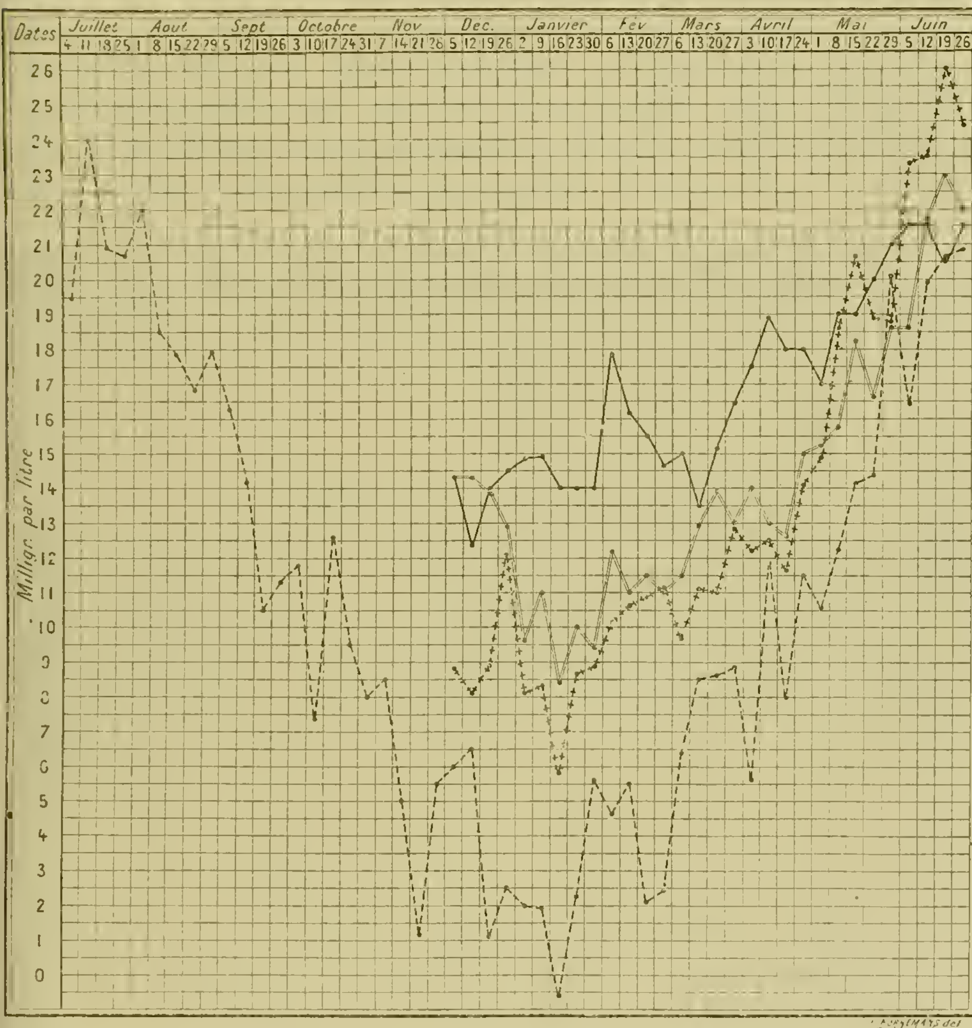
contact, *avant* et *après 8 jours consécutifs de repos*, ont été les suivants :

	Nitrates 1er contact.	Nitrates 2e contact.
Avant.	5mgr	8mgr,7
Après 8 jours de repos.	80mgr	108mgr
Avant.	5mgr,7	11mgr,0
Après 8 jours de repos	25mgr	85mgr

Il importe de signaler d'ailleurs que cette mise en liberté de nitrates a été toute passagère et que, déjà après quelques jours

de remise en marche, à raison de deux ou trois immersions par jour, le taux était redevenu normal.

L'étude du processus de formation des nitrates dans les lits bactériens a retenu tout particulièrement notre attention



Graphique n° 21. — *Températures* enregistrées.

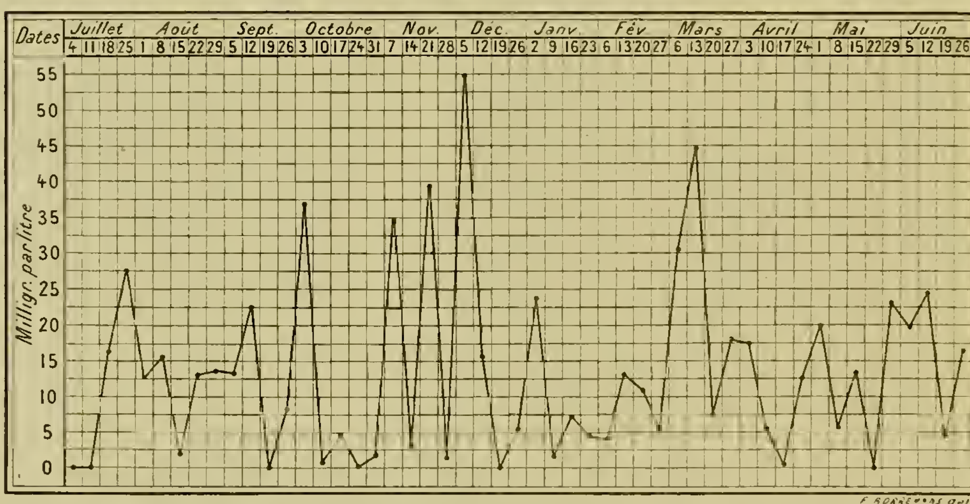
A l'extérieur.	--------	Dans les lits de 1er contact . . .	═══════
Dans les fosses septiques . . .	————	Dans les lits de 2e contact . . .	+++++++

et nous exposerons plus loin, dans un chapitre spécial, les résultats de nos recherches à ce sujet.

VI. **Dosage du carbone organique.** — Le procédé de dosage que nous avons employé pour la détermination du carbone organique dissous dans l'effluent de nos fosses septiques et

dans l'effluent de nos lits bactériens est celui de König. Il consiste en une véritable combustion humide des matières organiques en milieu acide, par le permanganate de potasse en excès. L'acide carbonique produit par cette combustion est fixé sur de la chaux sodée contenue dans des tubes en *U* que l'on pèse avant et après l'opération.

Méthode d'analyse. — Dans un ballon en verre d'Iéna de 700 centimètres cubes de capacité, on verse 250 centimètres cubes d'eau filtrée avec 10 centimètres cubes d'acide sulfurique diluée à 1/5. On relie ce ballon à un réfrigérant à reflux et on



Graphique n° 22. — Moyennes des *Pluies* observées à Lille de juillet 1904 à juillet 1905.

porte à l'ébullition pendant une demi-heure pour chasser l'acide carbonique libre ou combiné. On laisse un peu refroidir et on met le réfrigérant en communication avec un tube de Peligot contenant de l'acide sulfurique pur, puis avec une série de tubes en *U*. Le premier de ces tubes contient du chlorure de calcium pour dessécher le gaz ; le deuxième et le troisième, munis de robinets, renferment de la chaux sodée qui retiendra l'acide carbonique dégagé par la combustion humide ; enfin un quatrième tube contient dans une branche de la chaux sodée et dans l'autre du chlorure de calcium : il sert de tube de sûreté.

On a pris, avant l'opération, la tare des tubes à chaux sodée.

On verse alors, par un entonnoir latéral, environ 2 grammes de sulfate mercurique et 2 grammes de permanganate de

potasse. On chauffe d'abord doucement pour produire un dégagement lent d'acide carbonique, puis on porte à l'ébullition. Lorsqu'il n'y a plus de dégagement, on cesse de chauffer.

On balaie tout l'appareil par un faible courant d'air qui a passé dans un tube de chaux sodée pour le dépouiller de son acide carbonique. Après quelques minutes on arrête l'opération et on pèse les tubes à chaux sodée tarés : l'augmentation de poids donne la quantité d'acide carbonique formé aux dépens de la matière organique.

On peut exprimer les résultats en carbone ou, pour éviter tout calcul, en acide carbonique.

Résultats. — Les moyennes de nos analyses, indiquées dans le *tableau VIII* et dans le *graphique* (n° 25) ci-après, montrent

Tableau III.

Carbone organique en CO^2

DATES		BASSIN COLLECTEUR (après fosse septique).	LITS BACTÉRIENS		LITS BACTÉRIENS	
			A1 1er CONTACT	A2 2e CONTACT	B1 1er CONTACT	B2 2e CONTACT
Septembre.	Du 26 au 1.	86,0	»	»	68,0	48,0
Novembre .	Du 14 au 19.	104,0	55,0	40,0	»	»
Décembre .	Du 12 au 17.	228,0	128,0	112,0	»	»
	— 26 — 31.	180,0	»	»	48,0	35,0
Avril. . . .	Du 10 au 15.	96,0	76,0	40,0	»	»
Mai.	Du 1 au 6.	150,0	76,0	37,0	»	»
	— 8 — 13.	100,0	»	»	80,0	40,0
	— 15 — 20.	150,0	84,0	60,0	100,0	68,0
	— 22 — 27.	89,0	64,0	28,0	48,0	36,0
	— 29 — 3.	94,0	50,0	38,0	»	»
Juin	Du 5 au 10.	166,0	»	»	118,0	72,0

que la proportion de carbone organique dissous diminue assez rapidement après chaque contact.

VII. **Numération des germes de microbes.** — Nous avons réservé pour des recherches ultérieures l'étude des différentes espèces de germes microbiens anaérobies et des germes

aérobies autres que les ferments nitrificateurs, qui interviennent dans les phases successives de l'épuration biologique des eaux d'égout.

Nous nous bornons, pour le moment, à fournir des indications sommaires sur la numération des germes que renferment l'eau brute d'une part, et d'autre part les effluents de nos fosses septiques et de nos lits bactériens de premier et de second contact.

Voici les moyennes générales que nous avons relevées pendant les mois d'avril, mai et juin 1905 :

	Par cent. cube	
	Microbes aérobies cultivables en gélatine peptonée comptés le 5e jour à + 22°.	Microbes liquéfiant la gélatine.
Eau brute avant l'entrée aux fosses septiques.	135 820 000	5 290 000
Effluent de la fosse septique ouverte	61 800 000	5 550 000
Effluent de la fosse septique fermée.	66 600 000	1 920 000
Effluent des lits bactériens de 1er contact.	23 740 000	1 070 000
Effluent des lits bactériens de 2e contact.	16 380 000	960 000

Il est remarquable de constater que le nombre des germes cultivables en gélatine, encore considérable au sortir des fosses septiques, s'abaisse très vite dans la traversée des lits de contact. Le colibacille, dans l'effluent final du deuxième contact, devient très rare. Les espèces les plus communément observées dans cet effluent sont : des *streptocoques*, des *staphylocoques*, le *b. subtilis*, le *b. megatherium*, le *proteus*, le *b. mycoïdes*, et le *b. fluorescens liquefaciens*.

La plupart de ces espèces, qui prédominent dans l'eau épurée, remplissent vraisemblablement un rôle dans la désintégration ou l'oxydation des produits dérivés des fermentations anaérobies en fosse septique.

Nous nous efforcerons de le préciser.

VIII. **Tassement des matériaux. Pertes de capacité des lits bactériens. Colmatage.** — Nous avons précédemment indiqué

qu'au début du fonctionnement de nos lits bactériens, le volume occupé par les scories était d'environ les 2/5 de la capacité volumétrique de chaque bassin, soit exactement 155 mètres cubes. Leur capacité utile était donc de 1/5, soit 69 mètres cubes, lorsqu'ils étaient entièrement immergés.

Il était intéressant de rechercher si, après une année de



Graphique n° 25. — Carbone organique dissous (moyennes générales).

service, nous constaterions un tassement appréciable des scories et une perte de capacité des lits.

Nous avons donc jaugé exactement, à la date du 12 juillet 1905, chacun de nos lits de premier et de second contact, et nous avons constaté que leur capacité utile était encore de $67^{m^3},868$.

Le tassement des scories a donc été presque nul. Quant au colmatage des rigoles de distribution en surface, il est resté jusqu'à présent si négligeable que nous n'avons pas éprouvé le besoin de bêcher les couches superficielles de scories ni

même de les remuer au rateau. Nous évitons, autant que possible, par des sarclages fréquents, de les laisser envahir par les herbes et nous maintenons ainsi leur perméabilité absolue.

Il est certain que, dans ces conditions, les mêmes scories fourniront pendant de nombreuses années une nitrification très active, et nous ne prévoyons pas qu'il soit utile de labourer ou de renouveler leurs couches superficielles avant cinq ou six ans au moins.

L'entretien des lits ne nécessite donc aucune dépense autre que la main-d'œuvre d'un surveillant qui ouvre et ferme les vannes suivant les périodes d'immersion ou d'aération assignées à chacun d'eux.

CHAPITRE VI

ÉTUDE DE LA NITRIFICATION SUR LES LITS BACTÉRIENS

Son mécanisme. — Travail symbiotique des ferments nitreux et nitrique [1].

La question de la nitrification présente un intérêt capital dans l'épuration des eaux résiduaires par les procédés biologiques. Ce sont, en effet, les microbes nitrificateurs qui ont pour mission d'achever, dans les lits bactériens d'épuration, la décomposition des matières azotées en transformant en nitrates les sels ammoniacaux produits par les autres espèces microbiennes. Il est donc particulièrement utile de connaître les propriétés physiologiques de ces microbes de la nitrification, afin d'en déduire les conditions favorables pour leur travail dans les lits bactériens.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler d'abord les notions acquises jusqu'à ces temps derniers sur cette importante question. Pendant longtemps on a considéré la nitrification comme un phénomène catalytique résultant de la condensation et de l'oxydation de l'ammoniaque atmosphérique sous l'influence de certains corps poreux. Nous savons aujourd'hui, grâce aux recherches de Berthelot, Schlœsing et Muntz, que la nitrification est un phénomène biologique, résultant de l'activité vitale d'un microbe. En isolant ce microbe à l'état pur, Winogradsky a constaté en 1890 que la nitrification provient non pas d'un, mais de deux ferments distincts. Le premier, appelé ferment nitreux, oxyde les sels ammoniacaux

[1] Une partie de ces travaux effectués par MM. Boullanger et Massol à l'Institut Pasteur de Lille, a été publiée dans les *Annales de l'Institut Pasteur*, t. XVII et XVIII.

et donne des nitrites ; l'autre, appelé ferment nitrique, oxyde les nitrites et les transforme en nitrates. L'oxydation complète de l'ammoniaque se fait donc en deux étapes, et à chaque étape correspond un microbe différent.

En possession des microbes nitrificateurs purs, Winogradsky a pu étudier et faire connaître leurs principales propriétés physiologiques, dont quelques-unes sont très curieuses. Il a démontré que ces microbes ne poussent pas sur les milieux de culture organiques ordinairement usités en bactériologie. Il faut, surtout pour le ferment nitreux, utiliser pour leur isolement des gelées minérales, par exemple de la silice coagulée par l'addition de sels minéraux. Il a démontré, en outre, que ces microbes peuvent se développer abondamment dans les liquides privés de substances organiques, en prenant le carbone qui leur est nécessaire pour former leur substance, aux carbonates. Ils possèdent donc la faculté d'assimiler l'acide carbonique des carbonates. Nous savons aussi, par les expériences de Winogradsky et Omeliansky que les microbes nitrificateurs sont incapables d'attaquer les matières organiques azotées complexes pour les transformer en nitrites et nitrates et que ces matières doivent être, au préalable, amenées à l'état d'ammoniaque par d'autres microbes, pour subir l'action des ferments nitrificateurs.

Nous savons enfin que la présence de la plupart des corps organiques gêne très fortement le travail de ces ferments. Il suffit, pour gêner la marche du ferment nitreux, d'une très faible dose de peptone, d'asparagine, de glycérine ou d'urée. Le ferment nitrique est moins sensible aux matières organiques que le ferment nitreux, mais il présente une sensibilité extraordinaire vis-à-vis de l'ammoniaque : 5 milligrammes d'ammoniaque par litre gênent déjà sa marche, 150 milligrammes l'arrêtent complètement.

Winogradsky et Oméliansky se sont basés sur ces observations pour expliquer de la façon suivante les phénomènes de nitrification dans la nature : le ferment nitreux, gêné par les matières organiques complexes ne se développe et ne commence son action que lorsque la décomposition de ces matières par les autres microbes est déjà très avancée; le ferment nitrique, paralysé par l'ammoniaque, reste à l'état de

repos pendant la phase nitreuse et il n'oxyde les nitrites que quand les dernières traces d'ammoniaque ont disparu.

Cette théorie est parfaitement d'accord avec les faits qu'on observe au laboratoire dans l'étude des ferments nitrificateurs, mais elle est en opposition avec beaucoup d'observations de la pratique. Quand on examine la nitrification naturelle dans les sols ou dans les lits bactériens d'épuration d'eaux résiduaires, on constate que le phénomène se traduit toujours par une formation de nitrates et que la production des nitrites est nulle et insignifiante. Dans les conditions de vie naturelle, les deux microbes agissent donc toujours en même temps et cette action commune est tellement parfaite qu'on ne trouve que peu ou pas le produit intermédiaire de l'oxydation : l'*acide nitreux*. En outre, la pratique a montré que, dans les sols comme dans les lits bactériens d'épuration, ce fonctionnement simultané des deux microbes se manifeste toujours aussi bien en présence de doses d'ammoniaque et de matières organiques parfois considérables.

Ces faits semblent mal s'accorder avec les notions établies par Winogradsky et Omeliansky sur les propriétés des microbes nitrificateurs, et il était utile d'élucider ces contradictions. En outre, beaucoup de points restaient encore obscurs, au point de vue de la culture des organismes, de leur résistance à la chaleur, de leur température *optima* de culture, de l'influence de la concentration saline sur leur travail, de l'action de la nature des sels qui nitrifient, etc. Les expériences qui suivent ont eu pour but de préciser ces divers points et de répondre à ces questions.

I. **Isolement des ferments nitrificateurs.** — Pour isoler les ferments nitrificateurs, il faut commencer par provoquer une nitrification active avec la terre ou les fragments de lits bactériens qui doivent servir de souche. Cette nitrification est quelquefois longue à se déclarer. La méthode suivante permet de hâter beaucoup le départ du phénomène. On remplit à moitié des fioles coniques d'Erlenmeyer de 250 centimètres cubes avec des scories cassées en petits morceaux. Pour les fermentations nitreuses, on ajoute alors 50 centimètres cubes du liquide de culture suivant, dont la composition est due à Omeliansky : *Sulfate d'ammoniaque*, 2 grammes; *chlorure de*

sodium, 2 grammes; *phosphate de potasse*, 1 gramme; *sulfate de magnésie*, 50 centigrammes; *sulfate ferreux*, 40 centigrammes; *eau distillée*, 1000 grammes. Ce liquide vient baigner partiellement les fragments de scories. On stérilise, puis on ajoute environ 50 centigrammes *de carbonate de magnésie*, sous forme d'un lait stérile, et on ensemence avec quelques morceaux de scories prélevés sur les lits bactériens en activité. Pour le ferment nitrique, on opère exactement de la même manière, mais en employant comme liquide de culture la solution nitritée d'Omeliansky dont nous rappelons la composition : *nitrite de soude*, 1 gramme; *carbonate de soude calciné*, 1 gramme; *phosphate de potasse*, 50 centigrammes; *chlorure de sodium*, 50 centigrammes; *sulfate ferreux*, 40 centigrammes; *sulfate de magnésie*, 30 centigrammes; *eau distillée*, 1000 grammes. On stérilise et on ensemence comme précédemment. Dans ces conditions, surtout si on a soin d'agiter les fioles trois ou quatre fois par jour pour mouiller les scories qui sont hors du liquide, la nitrification se déclare rapidement et devient aussitôt très intense.

En possession de ce liquide en pleine nitrification, on procède à des passages et réensemencements successifs dans les milieux précédents, de manière à éliminer le plus possible les microbes étrangers, qui ne se développent pas dans ces milieux privés de matières organiques, et on obtient ainsi une culture purifiée qui sert à l'isolement.

Pour le *ferment nitreux*, on opère l'isolement sur silice gélatineuse. On prépare une solution de silice en versant lentement dans 125 centimètres cubes d'acide chlorhydrique à 15° Baumé un volume égal d'une solution à 8° Baumé de silicate de potasse ou de soude parfaitement pur et transparent. On place le mélange dans un dialyseur ordinaire, muni d'un parchemin bien étanche. La principale difficulté qu'on rencontre dans cette préparation est la coagulation prématurée de la silice, quelquefois dans le dialyseur, et plus souvent au moment de la stérilisation à 120°. Nous avons eu au début d'assez nombreux accidents de cette nature et nous avons dû modifier la technique pour les éviter. Les principaux facteurs qui influent sur le phénomène sont : la nature du parchemin, la qualité de l'eau employée pour la dialyse, la rapidité plus

ou moins grande de cette dialyse et le choix du moment où on opère la stérilisation.

Le parchemin doit être bien étanche; en outre, quand on emploie du parchemin animal, il est nécessaire de plonger, au préalable, le dialyseur monté dans de l'acide chlorhydrique étendu et de laver ensuite à plusieurs reprises avec de l'eau distillée, pour éliminer les sels de chaux qui imprègnent souvent le parchemin animal et occasionnent des coagulations prématurées. On dialyse alors dans l'eau du robinet, si cette eau n'est pas chargée en sels; mais si l'eau est calcaire, il est préférable de dialyser à l'eau distillée. La vitesse de la dialyse influe beaucoup sur la stabilité du produit. L'acide chlorhydrique dialyse plus vite que le chlorure de potassium formé, et il importe de ne pas enlever trop rapidement cet excès d'acide chlorhydrique qui empêche au début l'action nuisible de la grande quantité de chlorure présent dans le liquide. Il faut donc avoir soin de retarder au commencement la dialyse de l'acide chlorhydrique en soumettant le dialyseur à un courant d'eau très lent, pendant les vingt premières heures. Quand la proportion de chlorure de potassium est devenue faible, on doit augmenter la vitesse du courant d'eau pour ne pas prolonger trop longtemps la dialyse. Enfin, il faut bien choisir le moment propice pour la stérilisation. La meilleure méthode pour réussir consiste à procéder à des essais de stérilisation à intervalles réguliers. Si on stérilise trop tôt, la petite quantité de sels encore présents détermine la coagulation à l'autoclave; si on stérilise trop tard, on prolonge trop longtemps la dialyse de ce produit instable et on risque d'avoir des échecs. Pour éviter cet inconvénient, il suffit de prélever toutes les trois heures, après quarante-huit heures, 5 centimètres cubes de la solution silicique et de la stériliser dix minutes à 120°. On constate ainsi généralement qu'après quarante-huit heures, le produit ne supporte pas encore la stérilisation, tandis qu'au bout de cinquante-deux à cinquante-six heures, la coagulation n'est plus à craindre. Dès que ce point est atteint, on répartit le liquide dans des tubes, et on les stérilise à l'autoclave pendant dix minutes. On obtient ainsi une solution silicique stérile et parfaitement limpide.

Pour isoler le ferment nitreux sur cette silice, on commence

par faire tomber dans un tube 10 centimètres cubes de solution silicique stérilisée, une gouttelette de la culture purifiée de ferment nitreux; puis on ajoute, à l'aide de pipettes jaugées stériles, les solutions salines stérilisées suivantes : $0^{cc},5$ de sulfate d'ammoniaque à 4 %; $0^{cc},5$ d'une solution contenant pour 100 centimètres cubes d'eau distillée 4 grammes de chlorure de sodium, 2 grammes de phosphate de potasse et 1 gramme de sulfate de magnésie; $0^{cc},5$ d'une solution de sulfate ferreux à 0,8 pour 100; enfin, 1 centimètre cube d'un lait à 10 pour 100 de carbonate de magnésie très léger et bien tamisé. On agite très fortement et on verse dans des boîtes de Pétri flambées. L'addition de sels provoque la coagulation de la silice ensemencée en trente minutes environ. Les plaques laiteuses ainsi obtenues sont placées sur un banc de verre dans un cristallisoir à recouvrement flambé, contenant un peu d'eau stérile, pour éviter la dessiccation de la silice, et mis à l'étuve à 30°. Au bout de trois à cinq jours, la réaction nitreuse apparaît et au bout de huit à dix jours, l'ammoniaque a disparu. Pour obtenir des colonies plus grosses, on découpe sur deux côtés opposés de la plaque un petit segment et on ajoute, dans l'espace ainsi laissé libre, de temps en temps une goutte ou deux de la solution ammoniacale stérile. L'oxydation de l'ammoniaque se poursuit très énergiquement au voisinage de ces deux points et bientôt la plaque laiteuse devient transparente par suite de la décomposition du carbonate de magnésie par l'acide nitreux formé. On voit alors nettement les colonies de ferments nitreux sous l'aspect de petits points incolores; parfois, elles atteignent des dimensions assez considérables pour qu'on puisse les piquer directement avec un fil de verre stérile qu'on casse dans un matras contenant le milieu minéral ammoniacal indiqué plus haut. Si les colonies sont trop petites, on se sert du microscope pour leur réinoculation. Dès que le milieu ensemencé avec la colonie donne la réaction nitreuse, on contrôle la culture au microscope pour s'assurer qu'elle est bien homogène et on l'ensemence dans du bouillon de viande. Le ferment nitreux étant incapable de se développer dans ce milieu, les tubes de bouillon mis à l'étuve doivent rester stériles. Il est bon de faire un grand nombre de réinoculations de colonies nitreuses, car il arrive fréquemment

malgré toutes les précautions prises, qu'un certain nombre de cultures sont impures.

L'isolement du ferment nitrique est plus facile; on l'effectue sur une gélose nitritée dont la composition est la suivante : nitrite de soude, 2 grammes; carbonate de soude calciné, 1 gramme; phosphate de potasse, traces; gélose, 15 grammes; eau ordinaire 1000 grammes. On ensemence ce milieu rendu liquide par chauffage à 45° avec une culture purifiée de ferment nitrique, et on fait couler le milieu ensemencé dans les boîtes de Pétri flambées, où il fait prise. Au bout de quelques jours, la réaction des nitrites fait place à celle des nitrates. Les colonies sont toujours très petites; on les repique sous le microscope en se servant d'un fil de verre dont on casse la pointe dans un matras contenant le milieu minéral nitrité indiqué plus haut. Dès que la réaction des nitrites a disparu, on contrôle au microscope l'homogénéité de la culture et on l'ensemence dans du bouillon. Comme pour le ferment nitreux, les tubes de bouillon mis à l'étuve doivent rester stériles.

En observant toutes ces précautions, ces méthodes précises d'isolement permettent d'arriver sûrement à obtenir à l'état pur les microbes de la nitrification et d'en étudier les propriétés. Nous avons ainsi isolé deux ferments nitreux purs, l'un provenant d'une terre de *Java*, l'autre d'un *lit bactérien* en activité, et deux ferments nitriques purs, l'un d'une *terre de bruyère* et l'autre d'un *lit bactérien*.

II. **Biologie des ferments nitrificateurs.** — Les deux ferments nitreux que nous avons étudiés se ressemblent beaucoup au point de vue morphologique; ce sont de belles bactéries ovales, ciliées, se présentant le plus souvent sous formes zoogléiques englobées dans les masses de carbonate de magnésie. Le ferment de lit bactérien nous a semblé cependant plus petit; il est également moins actif. Les deux ferments nitriques ne présentent pas non plus de différences de structure; ce sont bien les bactéries très petites, décrites par Winogradsky, formant sous le microscope des amas plus ou moins denses.

La grande fragilité de ces ferments nitrificateurs, déjà signalée par Winogradsky et Oméliansky, rend les expé-

riences assez délicates. On a parfois des irrégularités inexplicables dans le développement des microbes, principalement pour le ferment nitreux, et la période appelée par Winogradsky période d'incubation, qui s'écoule entre l'ensemencement et l'apparition de la réaction nitreuse, varie dans des limites assez considérables. Aussi est-il nécessaire d'apporter le plus grand soin au choix de la semence, et d'employer toujours, pour les ensemencements d'une même expérience, des doses égales d'une même culture, rendue aussi homogène que possible. Nous avons employé ordinairement, pour le ferment nitreux, dans les essais qui vont suivre, $0^{cc},5$ de semence par 20 centimètres cubes de milieu de culture. Cette dose assez forte a l'avantage de réduire la durée de la période d'incubation et de rendre exceptionnelles les irrégularités dans le développement des microbes et dans la durée de la nitrification. Ces irrégularités n'existent pas avec le ferment nitrique, et 5 gouttes d'une semence jeune suffisent par assurer des nitrifications régulières et tout à fait comparables.

Pour apprécier la marche de la nitrification, nous avons recherché l'ammoniaque au moyen du réactif de Nessler, les nitrites avec le réactif de Trommsdorff (iod-amylique), les nitrates avec le sulfate de diphénylamine. Il importe toutefois de remarquer que les nitrites donnent avec ce dernier réactif la coloration bleue comme les nitrates, et quand on veut rechercher les nitrates dans les solutions nitritées, il est nécessaire de détruire au préalable les nitrites par ébullition, avec un peu de sulfate de protoxyde de fer, qui les décompose en dégageant du bioxyde d'azote. On fait alors agir le sulfate de diphénylamine.

Nous passons maintenant aux diverses expériences entreprises sur les ferments nitrificateurs.

Résistance à la chaleur. — Nous avons recherché quelle était l'action de la chaleur sur ces organismes. Pour éviter une trop longue période d'incubation de la culture après chauffage, il faut ensemencer assez fortement. Pour cela, nous avons enfermé les microbes dans de longs tubes très fins, plusieurs fois contournés en S, et renfermant 1 centimètre cube de culture. Ces tubes ont été plongés, pendant un temps rigoureusement déterminé, dans un grand bain-marie contenant

12 litres d'eau à la température voulue. Après chauffage, on a refroidi brusquement et ensemencé la culture dans 25 centimètres cubes de milieu ammoniacal ou nitrité, suivant la nature du microbe, et les cultures qui, après deux mois de séjour à l'étuve à 30°, n'ont donné aucune trace de nitrification ont été considérées comme mortes. Voici nos résultats :

Températures.	Durée du chauffage.	Ferments nitreux.	Ferments nitriques.
—	—	—	—
35°	5 minutes.	+	+
40°	—	+	+
45°	—	0	+
50°	—	0	+
55°	—	0	0
60°	—	0	0

+, développement; 0, mort.

On voit donc que nos deux ferments nitreux sont très sensibles à l'action de la chaleur, puisqu'ils meurent après cinq minutes à 45°. Les deux ferments nitriques sont plus résistants et ne sont détruits qu'aux environs de 55°.

Températures optima de culture. — Pour nous rendre compte de la température la plus favorable pour le développement de ces organismes, nous avons procédé à une série de cultures aux températures de 20°, 30°, 37° et 45°.

20 centimètres cubes de solution ammoniacale ou nitritée ont été ensemencés avec les ferments nitreux de Java et de Lit bactérien, et avec les ferments nitriques de Lit bactérien et de Bruyère. Le tableau suivant indique la durée de la nitrification aux diverses températures :

	FERMENTS NITREUX		FERMENTS NITRIQUES	
Températures.	Java.	Lit bactérien.	Bruyère.	Lit bactérien.
—	—	—	—	—
20°	37 jours.	40 jours.	20 jours.	27 jours.
30°	24 —	25 —	11 —	11 —
37°	20 —	24 —	8 —	8 —
45°	Pas de nitrification.			

La température la plus favorable paraît donc être celle de 37° pour les ferments nitreux comme pour les ferments nitriques. A 20° l'action est beaucoup plus lente; elle est nulle à 45°.

Influence des divers supports. — Nous avons déjà signalé, à

propos de l'isolement des microbes, l'influence favorisante des scories sur la nitrification. Pour étudier cette action sur le ferment nitreux, nous avons placé dans nos fioles coniques d'un litre, 400 centimètres cubes de solution minérale d'Oméliansky sans ammoniaque. Certains flacons ont alors été remplis à moitié avec des scories, d'autres n'ont reçu aucune addition. Après stérilisation, on a ajouté l'ammoniaque sous forme d'une solution de sulfate d'ammoniaque à 10 pour 100. Cette précaution est nécessaire pour ne pas avoir de déperdition d'ammoniaque pendant le chauffage à l'autoclave. Le liquide arrivait environ à mi-hauteur de la couche de scories dans les flacons. On a ensemencé les deux ferments nitreux Java et Lit bactérien ; de temps à autre on agitait les matras pour mouiller les scories situées hors du liquide. Voici les résultats obtenus :

Ferment nitreux.		Durée de la nitrification.
Java	Sans scories (milieu liquide)	29 jours
	Avec scories	20 —
Lit bactérien.	Sans scories (milieu liquide)	47 —
	Avec scories	37 —

On voit que la présence des scories réduit environ d'un tiers la durée du phénomène.

En présence de ces résultats, nous avons étudié l'influence de divers supports sur les ferments nitreux et nitriques. Le mode opératoire a été le même que précédemment, mais nous n'avons employé cette fois que 50 centimètres cubes de liquide ammoniacal ou nitrité. Nos essais ont porté sur les scories, la porcelaine poreuse, la ponce, la brique et le sable. Voici nos résultats :

Supports.	DURÉE DE LA NITRIFICATION Ferment nitreux. Java.	 Ferment nitrique. Bruyère.
Scories	18 jours.	8 jours.
Porcelaine poreuse	22 —	15 —
Ponce	25 —	15 —
Brique	28 —	15 —
Sable	34 —	12 —
Témoin (sans support)	28 —	12 —

Nous voyons que les scories constituent, pour le ferment

nitreux comme pour le ferment nitrique, le support le plus favorable. Le ferment nitreux est particulièrement aidé par la présence de certaines substances telles que la porcelaine poreuse et la ponce. Le fait d'exposer le liquide nitrifiable au contact de l'air sous la très large surface offerte par les aspérités des scories et de la ponce augmente l'activité du ferment nitreux et la vitesse de la nitrification. Le ferment nitrique est moins sensible à ces influences ; à part les scories dont l'action est indiscutable, les autres substances paraissent indifférentes, sinon nuisibles. Il faut remarquer également que le sable paraît peu favorable à la fermentation nitreuse; nous avons pu à plusieurs reprises nous convaincre que les matras contenant du sable nitrifiaient moins vite l'ammoniaque que les autres matras.

Un excellent procédé de culture pour le ferment nitreux consiste à le cultiver sur scories en tonneaux roulants, comme on cultive le ferment acétique sur les copeaux dans les acétificateurs rotatifs du procédé luxembourgeois pour la fabrication du vinaigre. On remplit complètement de scories de petits tonneaux en verre d'environ deux litres; on ajoute une certaine proportion de milieu à nitrifier (proportion qui doit au plus atteindre le tiers de la capacité du fût), on stérilise et on ensemence. On fait alors passer par la tubulure centrale un courant d'air stérile très lent, et toutes les trois ou six heures on procède à une révolution du tonneau pour imbiber les scories et activer le phénomène. Dans ces *nitrificateurs rotatifs*, le phénomène est très rapide, et, en ajoutant progressivement de nouvelles doses d'ammoniaque au fur et à mesure de sa disparition, on arrive à nitrifier des quantités considérables. Voici, par exemple, le résultat d'une expérience de cette nature :

	Durée de la nitrification.	Nitrite formé.
	—	—
Milieu liquide.	54 jours.	7gr,8 par litre.
Tonneau roulant avec scories. .	54 —	10gr,9 —

Nous voyons qu'on peut obtenir par ce mode de culture une production de nitrites déjà assez élevée. Nous allons retrouver ces faits en étudiant l'influence de la concentration saline sur les microbes.

III. Influence de la concentration saline sur les ferments nitrificateurs. — Il est particulièrement intéressant, pour l'étude des fonctions physiologiques des ferments nitrificateurs, de connaître l'influence de la proportion de sel oxydable (sulfate d'ammoniaque ou nitrite de soude) sur la marche de la nitrification, et l'action du produit oxydé (nitrite ou nitrate), formé par les microbes.

Dans ce but, nous avons cherché à résoudre les questions suivantes :

1° Quelle est l'action de la concentration du milieu en sulfate d'ammoniaque sur la fermentation nitreuse, et en nitrite de soude sur la fermentation nitrique?

2° Quelle est l'influence du nitrite de soude formé sur le ferment nitreux, et du nitrate de soude sur le ferment nitrique?

3° Les nitrates produits par le ferment nitrique exercent-ils une action sur la marche du ferment nitreux?

Méthodes de dosage. — Pour faire ces expériences, il est nécessaire d'avoir une méthode de dosage très précise des nitrites, des nitrates et de ces deux sels réunis. Les procédés colorimétriques ne sont pas susceptibles d'une assez grande exactitude. Nous devons à l'extrême obligeance de *M. Muntz* une méthode très élégante de dosage, qui permet d'apprécier avec une grande exactitude des quantités très petites de nitrites ou de nitrates, ou des mélanges de ces deux sels. Comme cette méthode de *M. Muntz* n'a pas été publiée, nous en donnerons la description ici, car elle est susceptible de rendre de très grands services à ceux qui s'occupent de nitrification.

Les dosages se font d'après le principe de la méthode de *Schlœsing*, qui consiste à transformer les nitrates en bioxyde d'azote qu'on recueille et qu'on mesure sur le mercure. Pour doser les nitrites, on se base sur ce fait que ces sels, chauffés avec du sulfate ferreux, se décomposent intégralement en donnant du bioxyde d'azote. Dans ces conditions, les nitrates ne sont pas attaqués. Si on additionne alors le liquide d'acide chlorhydrique quand les nitrites sont détruits, les nitrates sont décomposés à leur tour, et tout l'azote qu'ils contiennent se dégage à l'état de bioxyde d'azote. Il suffit donc, en pratique, d'introduire d'abord, dans le ballon, du sulfate ferreux

au contact de la liqueur dans laquelle on veut doser les nitrites; on chauffe, et on recueille le bioxyde d'azote dans une première cloche. Cette réaction s'achève très rapidement. Quand le dégagement de gaz a cessé, on change la cloche et on fait arriver de l'acide chlorhydrique au contact du liquide. Les nitrates sont décomposés à leur tour, et on recueille le bioxyde d'azote dans une deuxième cloche. On obtient ainsi séparément, mais dans une même opération, le bioxyde

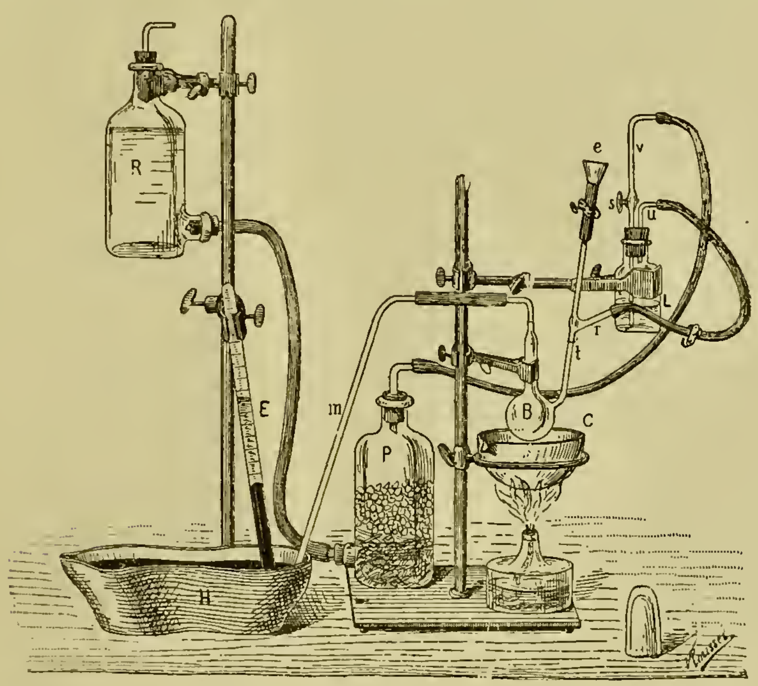


Fig. 6. — Appareil de Müntz pour le dosage des nitrates.

d'azote correspondant aux nitrites et aux nitrates, et on déduit la proportion de ces sels présente dans la liqueur.

L'appareil qui sert pour ces dosages est l'appareil de Schlœsing légèrement modifié, et se trouve représenté ci-dessus (fig. 6) :

Le petit ballon B dans lequel s'effectuent les réactions contient seulement environ 30 à 35 centimètres cubes. La tubulure supérieure sert au dégagement des gaz et est reliée au tube abducteur qui s'ouvre sous la cuve à mercure. Au centre du ballon se trouve une deuxième tubulure, qui porte un tube vertical assez fin. Ce tube se bifurque bientôt en donnant deux branches; l'une est reliée par un fort caoutchouc muni d'une

pince à un très petit entonnoir qui sert à l'introduction des liquides ; l'autre est reliée à un appareil continu RP, producteur d'acide carbonique. Le chauffage s'opère en plongeant le petit ballon dans un bain de paraffine ou d'alliage de Wood maintenu à la température voulue par une lampe à alcool. Ce mode de chauffage est pratique, car il empêche la surchauffe et les absorptions qui arrivent parfois avec le chauffage direct par la lampe à alcool. En outre, le support du bain d'alliage porte un manche en bois pour abaisser ou élever facilement ce bain ; on peut ainsi produire à volonté dans l'appareil de légères dépressions qui permettent d'introduire sans difficulté les liquides par le petit entonnoir pendant l'opération.

Voici comment s'exécute l'analyse. Il faut d'abord amener le liquide au point de concentration voulu. Quand il s'agit de doser seulement les nitrites, il n'est pas nécessaire de beaucoup concentrer, la réaction se produisant très bien en milieu étendu. Ce fait a une certaine importance, car certains nitrites, comme le nitrite de magnésium, sont très instables, et leurs solutions se décomposent déjà partiellement à 100 degrés. Pour les nitrates, il est nécessaire de concentrer, de manière à avoir, sous un volume de quelques centimètres cubes, 10 à 20 milligrammes de nitrate. La liqueur d'essai est introduite par le petit entonnoir dans le ballon. On lave l'entonnoir à plusieurs reprises avec quelques gouttes d'eau distillée, puis on chasse l'air de l'appareil en faisant arriver un courant de gaz carbonique. Cette opération effectuée, on place sur le tube abducteur, qui plonge dans la cuve à mercure, une cloche de 25 centimètres cubes, graduée au 1/10, dans laquelle on a introduit 3 à 4 centimètres cubes d'une solution de potasse à 39-40 degrés Baumé. On s'assure qu'il n'y a plus d'air dans l'appareil en faisant passer encore deux ou trois bulles de gaz carbonique, qui doivent être entièrement absorbées par la potasse. On fait alors entrer dans l'appareil par le petit entonnoir, en produisant une légère dépression, 1 à 2 centimètres cubes d'une solution saturée de sulfate ferreux. On lave à plusieurs reprises et on chauffe le bain d'alliage. Le bioxyde d'azote se dégage. Quand le dégagement gazeux paraît terminé, on fait passer bulle à bulle, sans arrêter l'ébullition, un courant de gaz carbonique pour balayer

l'appareil et entraîner tout le bioxyde d'azote. On enlève cette première cloche.

On place alors sur le tube abducteur une deuxième cloche, puis, en abaissant un peu le bain d'alliage, on crée une légère dépression, et on fait arriver par le petit entonnoir 2 à 3 centimètres cubes d'acide chlorhydrique. On plonge de nouveau le ballon dans le bain d'alliage, et le bioxyde d'azote des nitrates se dégage à son tour. L'appareil est balayé à la fin comme précédemment par un courant de gaz carbonique.

On obtient ainsi deux cloches de gaz qu'on plonge dans une petite cuve à mercure profonde pour les mettre en équilibre de température avec le mercure qui les entoure, et pour permettre à la potasse d'achever d'absorber l'acide carbonique. On amène le mercure au même niveau dans les cloches et dans la cuvette, afin de n'avoir comme contre-pression que la colonne de potasse. On note le volume du gaz, la température, la hauteur de la colonne de potasse et la pression barométrique. Pour les calculs, on admet que la tension de vapeur de la solution de potasse est sensiblement égale aux deux tiers de la tension de la vapeur d'eau à la même température, et que sa densité est dix fois moindre que celle du mercure, c'est-à-dire qu'une colonne de 4 centimètres de potasse correspond à une colonne de mercure de 4 millimètres. Il suffit alors de ramener les volumes gazeux à 0° et 760 millimètres, et on en déduit le nitrite et le nitrate correspondants.

Toutes les analyses exécutées dans ce travail l'ont été par cette méthode de M. *Muntz*, à qui nous sommes heureux de pouvoir exprimer ici tous nos remerciements.

A. Expériences sur les ferments nitreux. — *Influence de la concentration en ammoniaque.* — Pour étudier l'action de la concentration du milieu en ammoniaque sur la fermentation nitreuse, nous avons préparé les solutions minérales nutritives ordinaires dans lesquelles nous avons ajouté des proportions variables de sulfate d'ammoniaque. Chaque matras a reçu 20 centimètres cubes de milieu de culture, et, après stérilisation, nous avons additionné ce milieu de la quantité de carbonate de magnésie correspondant à la dose d'ammoniaque présente. L'expérience a porté sur les deux ferments Java et Lit

bactérien. L'ensemencement a eu lieu le 15 novembre, et on a relevé les réactions au Trommsdorff et au Nessler aux diverses époques.

Le 15 janvier, soit environ deux mois après, constatant que la réaction au Nessler était toujours aussi intense dans les milieux qui contiennent plus de 6 grammes par litre de sulfate d'ammoniaque, nous avons sacrifié les cultures et nous avons soumis les liquides à l'analyse pour voir quelle avait été la production de nitrite dans les milieux riches en sulfate d'ammoniaque. Les résultats obtenus ont été les suivants :

Sulfate d'ammoniaque en gr. par litre.	NITRITE DE MAGNÉSIE FORMÉ EN GRAMMES PAR LITRE	
	Ferment Java.	Ferment Lit bactérien.
—	—	—
8	6,48	»
10	6,61	4.86
30	8,54	9,61
50	7,59	traces.
80	traces.	traces.
100	traces.	traces.

Ces résultats nous permettent de tirer les conclusions suivantes : le ferment nitreux s'arrête quand la concentration en sulfate d'ammoniaque dépasse 50 grammes par litre. Il existe d'ailleurs sous ce rapport des différences entre les divers ferments. Avec le ferment Java, il y a encore nitrification jusqu'à 50 grammes par litre; avec le ferment Lit bactérien, la nitrification s'arrête lorsque la proportion de sulfate d'ammoniaque atteint 50 grammes par litre.

Influence du nitrite formé. — Pour voir quelle est l'influence du nitrite formé sur la fermentation nitreuse, nous avons dû nous mettre à l'abri de l'action nocive des doses trop fortes d'ammoniaque. A cet effet, nous avons cultivé les ferments nitreux dans le milieu normal à 2 pour 1000 de sulfate d'ammoniaque, et, chaque fois que la réaction ammoniacale disparaissait, nous rajoutions une dose d'ammoniaque équivalente à celle qui avait disparu, ainsi que la dose de base carbonatée correspondante. Nous avons pu produire ainsi une accumulation de nitrite assez considérable, tout en ne nitrifiant que des solutions ammoniacales étendues. Les essais ont été effectués sur 100 centimètres cubes de milieu minéral contenant

2 grammes par litre de sulfate d'ammoniaque. Les doses successives d'ammoniaque étaient ajoutées sous forme de 1 centimètre cube d'une solution de sulfate d'ammoniaque à 20 pour 100 stérilisée, dès que la réaction au Nessler avait disparu. A chaque dose d'ammoniaque, on ajoutait 4 centimètres cubes d'un lait à 10 pour 100 de carbonate de magnésie stérilisé. Nous avons expérimenté sur les deux ferments Java et Lit bactérien : l'ensemencement a eu lieu le 6 décembre, et les résultats obtenus ont été les suivants :

Dates des diverses doses ajoutées.

Ferments.	1°	2°	3°	4°	5°
Java.	6 déc.	25 déc.	2 janv.	7 janv.	12 janv.
Lit bactérien. .	6 déc.	20 déc.	29 déc.	7 janv.	14 janv.

Ferments.	6°	7°	8°	9°
Java.	16 janv.	2 fév.	4 mars	16 avril.
Lit bactérien. .	2 fév.	25 mars	»	»

Le 19 mars, voyant la nitrification se ralentir, nous avons rajouté la dose de sels nutritifs contenue dans le milieu primitif, pour être certains que l'arrêt ne tenait pas au manque des éléments minéraux indispensables. Cette addition n'a eu aucun résultat.

Nous voyons donc que la nitrification a marché régulièrement avec le ferment Java jusqu'à la 6me dose d'ammoniaque, ce qui correspond à la nitrification de 10 grammes de sulfate d'ammoniaque par litre. A partir de ce moment, le phénomène s'est beaucoup ralenti, il a fallu 17 jours pour nitrifier complètement la 6me dose ; la 7me dose a demandé un mois, la 8me dose, un mois et demi, la 9me dose n'a plus nitrifié.

Pour le ferment Lit bactérien, l'action est la même, mais ce ferment est décidément plus sensible aux concentrations fortes, comme nous l'avons déjà vu dans l'expérience précédente; il est gêné par le nitrite formé à partir de la 5me dose d'ammoniaque, et il s'arrête à la 7me dose.

Pour nous rendre compte des concentrations de nitrites qui correspondent à ces actions nuisibles, nous avons procédé au dosage des nitrites dans le matras, avant l'addition de la 9me dose pour le ferment Java, et avant l'addition de la 7me dose

pour le ferment Lit bactérien. Nous avons obtenu les chiffres suivants :

Ferment.	Nitrate de magnésie présent en gr. par litre.
Java	14,31
Lit bactérien	13,42

Il importe de remarquer que ces chiffres ne peuvent pas correspondre aux doses d'ammoniaque introduites. Il aurait fallu pour cela tenir compte de la concentration et des variations de volume à la suite des additions d'ammoniaque, ce que nous avons jugé inutile, car notre but n'était pas ici de déterminer la quantité de nitrite qui se forme pour une quantité donnée de sulfate d'ammoniaque, mais bien la quantité de nitrite capable de gêner et d'arrêter une fermentation nitreuse. On voit par ce qui précède qu'à partir de 8 à 10 grammes de nitrite de magnésie par litre, le ferment nitreux semble gêné, et son action est paralysée, quand la proportion de nitrite formé atteint 13 à 15 grammes par litre. Cependant, le ferment n'est pas atteint dans sa vitalité, car, en diluant de moitié le liquide de culture après arrêt de la nitrification, nous avons constaté un nouveau départ et une nitrification complète de l'ammoniaque présente.

Nous avons également fait ces expériences en nous servant de carbonate de chaux, au lieu de carbonate de magnésie comme base carbonatée. Les nitrifications ont été moins loin, comme l'indique le tableau suivant :

Dates des diverses doses ajoutées.

Ferments.	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Java	6 déc.	20 déc.	2 janv.	16 janv.	30 janv.	9 mars.
Lit bactérien	6 déc.	23 déc.	20 janv.	7 févr.	4 mars	»

La nitrification paraît donc plus gênée par le nitrate de chaux que par le nitrite de magnésie, puisque, à la 6e dose d'ammoniaque pour le ferment de Java, et à la 5e dose pour le ferment de Lit bactérien, la nitrification a cessé de progresser. En diluant de moitié ces cultures, le phénomène a repris son cours normal.

Nous avons alors voulu voir si, en cultivant nos ferments en

nitrificateurs rotatifs, comme nous l'avons indiqué plus haut, nous n'arriverions pas à repousser plus loin cette dose à laquelle le nitrite formé devient nuisible. Nous avons placé dans de petits tonneaux en verre de 2 litres, remplis de scories calcinées stérilisées, 700 centimètres cubes de liquide minéral stérile à 2 grammes par litre de sulfate d'ammoniaque, et nous avons ensemencé avec les ferments Java et Lit bactérien. On faisait subir aux tonneaux deux révolutions complètes par jour, et la masse des scories était traversée par un courant d'air très lent. Chaque fois que l'on constatait, dans la prise d'essai, la disparition de l'ammoniaque, on ajoutait une nouvelle dose égale à la précédente et la dose de carbonate de magnésie correspondante. Voici les résultats obtenus :

Dates des diverses doses ajoutées.

Ferments.	1er	2e	3e	4e	5e
Lit bactérien. .	24 janv.	2 fév.	11 fév.	16 fév.	20 fév.
Java	24 janv.	5 fév.	11 fév.	16 fév.	20 fév.

Ferments.	6e	7e	8e	9e
Lit bactérien. .	27 fév.	13 mars	23 mars	13 avril.
Java	27 fév.	4 mars	13 mars	13 avril.

Le 22 mai, la réaction au Nessler était encore intense dans les deux tonneaux; la nitrification était arrêtée. Le dosage du nitrite de magnésie dans le milieu du ferment Lit bactérien a donné $15^{gr},15$ par litre.

Nous arrivons donc ici aux mêmes conclusions que dans les expériences précédentes, mais il faut remarquer que la nitrification a été beaucoup plus rapide dans ces petits tonneaux roulants que dans les fioles coniques. Au moment où le phénomène était très actif, les ferments ont nitrifié en 4 jours $1^{gr},4$ de sulfate d'ammoniaque.

Influence de l'addition de divers nitrites. — Les expériences que nous venons d'exposer montrent qu'au delà de 15 grammes par litre, les nitrites de magnésie ou de chaux formés deviennent nettement nuisibles à la fermentation nitreuse. Ce qui se passe est tout différent quand on ajoute, avant le départ de la fermentation nitreuse, une certaine dose de nitrite. A 20 centimètres cubes de milieu normal, à 2 grammes par litre de

sulfate d'ammoniaque, nous avons ajouté des doses croissantes de divers nitrites, en solutions titrées, stérilisées à froid à la bougie Chamberland, pour éviter toute décomposition à l'autoclave. Nous avons essayé les nitrites de potasse, de soude, de chaux et de magnésie. La durée de la nitrification avec les doses variables de ces divers nitrites est indiquée par le tableau suivant :

Durée de la nitrification.

Doses de nitrite en gr. par litre.	NITRITE DE SOUDE		NITRITE DE POTASSE		NITRITE DE CHAUX	NITRITE DE MAGNÉSIE
	Java.	Lit bact.	Lit bact.	Java.	Java.	Java.
—	—	—	—	—	—	—
1	45 jours.	3 mois.	2 mois.	2 m. 1/2.	21 jours.	16 jours.
2	2 mois.	—	—	3 mois.	22 —	—
4	»	—	»	»	»	»
8	»	3 m. 1/2.	»	3 m. 1/2.	»	»
10	»	»	»	»	»	21 jours.

Durée de la nitrification des témoins sans addition de nitrites. . . . . . { Java. . . . 10 jours. / Lit bact. . 7 —

Nous constatons qu'une très faible quantité de nitrite de soude ou de potasse, ajoutée avant le départ de la fermentation nitreuse, gêne considérablement le développement du ferment, jusqu'à la dose de 2 grammes par litre, la nitrification d'une même quantité d'ammoniaque demande pour le ferment Java 2 mois au lieu de 7 jours. Le ferment Lit bactérien est encore plus sensible. Ajoutons que nous avons préparé nous-mêmes ces nitrites à l'état pur, qu'ils nitrifient parfaitement par le ferment nitrique, et qu'il ne peut pas s'agir de la présence d'une impureté antiseptique pour le microbe. Les nitrites de chaux et de magnésie, ajoutés avant l'ensemencement, gênent beaucoup moins que les nitrites de potasse et de soude, puisque le retard dans la nitrification n'est que de 14 jours pour le nitrite de chaux et de 9 jours pour le nitrite de magnésie. Il y a cependant une légère action nocive.

Influence de l'addition de divers nitrates. — En présence de ces résultats, nous avons voulu nous rendre compte si l'addition de nitrates produisait sur la fermentation nitreuse des actions analogues à celles que donnent les nitrites. Nous avons additionné le milieu minéral à 2 grammes par litre de

sulfate d'ammoniaque de doses variables de divers nitrates (potasse, soude, magnésie, chaux). Les durées observées pour la nitrification d'une même dose d'ammoniaque ont été les suivantes :

Durée de la nitrification.

Doses en gr. par litre.	NITRATE DE SOUDE		NITRATE DE POTASSE		NITRATE DE CHAUX		NITRATE DE MAGNÉSIE.	
	Java.	Lit bact.	Java.	Lit bact.	Java.	Lit bact.	Java.	Lit bact.
—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	30 jours	pas finie	19 jours	2 m. 1/2	19 jours	2 mois	19 jours	2 mois.
5	pas finie	»	30 —	3 mois	19 jours	2 mois	19 jours	2 mois.
10	»	»	pas finie	pas finie	19 jours	2 mois	19 jours	2 mois.
30	»	»	»	»	pas finie	pas finie	pas finie	p. finie.

Durée de la nitrification des témoins { Java. . . . 19 jours.
sans addition de nitrate . . . . { Lit bact. . 39 jours.

Nous voyons que le nitrate de soude, ajouté avant l'ensemencement, retarde déjà de 11 jours le ferment Java à la dose de 1 gramme par litre. A la dose de 5 grammes par litre et aux doses supérieures, la nitrification se manifeste un peu, car on a une réaction sensible au Trommsdorff, mais 3 mois après l'ensemencement il y a encore beaucoup d'ammoniaque. Le ferment Lit bactérien est beaucoup plus sensible, et la dose de 1 gramme par litre de nitrate de soude a suffi pour gêner sa multiplication.

Le nitrate de potasse gêne moins que le nitrate de soude. Pour le ferment Java, la dose de 1 gramme par litre est indifférente, celle de 5 grammes par litre retarde un peu le phénomène; au delà de 10 grammes par litre, la nitrification devient interminable. Le ferment Lit bactérien présente toujours sa sensibilité plus grande; cependant, il est moins gêné par le nitrate de potasse que par le nitrate de soude, puisqu'il termine sa nitrification en 3 mois, dans le milieu à 5 grammes par litre de nitrate de potasse. Au delà de cette dose la nitrification est faible, et il reste toujours de l'ammoniaque.

Le nitrate de chaux ne gêne le ferment Java qu'aux concentrations fortes, au delà de 10 grammes par litre. Au-dessous de ce chiffre, la durée de la nitrification est la même que dans le témoin. Il en est de même pour le nitrate de magnésie. Le ferment Lit bactérien est toujours plus gêné que le ferment Java. Cependant il nitrifie complètement l'ammoniaque en

présence de 10 grammes par litre de ces nitrates mais avec un retard d'environ 20 jours sur le témoin.

Il résulte de ces diverses expériences que les nitrates de soude et de potasse présents dans les liquides peuvent gêner notablement le développement des ferments nitreux, même à une concentration assez faible (1 à 5 grammes par litre). Les nitrates de chaux ou de magnésie ne gênent que peu ou pas du tout, excepté aux concentrations fortes (plus de 10 grammes par litre).

B. Expériences sur les ferments nitriques. — *Influence de la concentration en nitrite de soude.* — 20 centimètres cubes de milieu minéral sont additionnés de doses de nitrite de soude variant de 1 gramme par litre à 100 grammes par litre. L'ensemencement a eu lieu le 9 novembre avec le ferment nitrique Bruyère : on a noté chaque jour la réaction au Trommsdorff jusqu'à transformation complète du nitrite. Le tableau suivant donne les réactions observées aux diverses époques.

Nitrite de soude en gr. par litre.	DATES				
	9 nov.	17 nov.	21 nov.	7 déc.	29 janv.
—	—	—	—	—	—
1	+	O	»	»	»
2	+	+	O	»	»
5	+	+	+	O	»
10	+	+	+	+	O
20	+	+	+	+	+
100	+	+	+	+	+

+, réaction intense au Trommsdorff; O, réaction nulle.

Nous constatons que la nitrification a été complète dans les milieux qui contiennent jusqu'à 10 grammes par litre de nitrite de soude. Elle a duré 9 jours pour le liquide à 1 pour 1000, 15 jours pour le liquide à 2 pour 1000 ; 29 jours pour le liquide à 5 pour 1000, 82 jours pour le liquide à 10 pour 1000. On constate que déjà pour une proportion de 10 grammes par litre de nitrite de soude, la nitrification se ralentit.

Les milieux renfermant respectivement 20 grammes et 100 grammes de nitrite de soude par litre donnaient encore 7 mois après une réaction intense au Trommsdorff. L'analyse a permis de reconnaître qu'il ne s'était formé que des traces de nitrates. Il n'y a donc pas de nitratation en présence d'une

dose de 20 grammes par litre de nitrite. Nous n'avons pas pu arriver à produire la nitrification dans ce milieu, même en accoutumant le microbe par cultures successives dans des milieux de plus en plus concentrés en nitrite. Nous voyons donc que le ferment nitrique est très sensible à la dose de nitrite présent, et qu'il présente sous ce rapport une sensibilité beaucoup plus grande que le ferment nitreux vis-à-vis de l'ammoniaque. Nous avons vu, en effet, la nitrification se produire avec le ferment nitreux dans des concentrations de sulfate d'ammoniaque de 50 grammes par litre.

Influence du nitrate formé. — Pour faire cette recherche, nous avons suivi le même mode opératoire que pour l'étude de l'influence du nitrite formé sur le ferment nitreux. Pour nous mettre à l'abri de l'influence nocive du nitrite, nous avons ensemencé les ferments nitriques dans le milieu minéral ordinaire à 1 gramme par litre de nitrite de soude, et, dès que la nitrification était complète, nous rajoutions une dose de nitrite équivalente à celle qui avait nitrifié. Nous avons ainsi pu produire une forte accumulation de nitrate dans le milieu de culture, tout en n'opérant que sur des solutions nitritées étendues. Les additions de nitrite se faisaient au moyen d'un volume donné d'une solution de nitrite de soude à 10 pour 100 stérilisée. Nous avons expérimenté avec les ferments Bruyère et Lit bactérien. L'ensemencement a eu lieu le 20 octobre, et le tableau ci-joint résume la marche des deux ferments.

Dates des diverses doses ajoutées.

Ferments.	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Bruyère	20 oct.	1er nov.	9 nov.	17 nov.	25 nov.	29 nov.	2 déc.
Lit bactérien. .	20 oct.	1er nov.	9 nov.	17 nov.	25 nov.	29 nov.	2 déc.

Ferments.	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°
Bruyère. . . .	5 déc.	11 déc.	15 déc.	22 déc.	26 déc.	29 déc.	2 janv.
Lit bactérien.	5 déc.	11 déc.	15 déc.	22 déc.	26 déc.	29 déc.	2 janv.

Ferments.	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°
Bruyère. . . .	7 janv.	22 janv.	28 janv.	6 fév.	16 févr.	20 fév.	25 fév.
Lit bactérien.	7 janv.	11 janv.	16 janv.	22 janv.	26 janv.	30 janv.	5 fév.

Ferments.	22°	23°	24°	25°	26°
Bruyère. . . .	5 mars	12 mars	17 mars	21 mars	28 mars
Lit bactérien.	8 fév.	14 fév.	20 fév.	5 mars	»

Nous voyons que l'oxydation du nitrite s'est poursuivie régulièrement, et avec une grande activité, jusqu'à l'addition de la 26e dose de nitrite de soude pour le ferment Bruyère. A ce moment, qui correspond à l'oxydation de 26 grammes de nitrite par litre, la production de nitrates s'est complètement arrêtée. Les résultats ont été analogues avec le ferment Lit bactérien, dont la marche a été encore plus régulière; elle s'est brusquement interrompue à la 25e dose de nitrite.

Pour nous rendre compte de la concentration en nitrate qui correspond à cet arrêt, nous avons procédé à l'analyse et nous avons obtenu les chiffres suivants :

Ferment.	Nitrate formé en gr. par litre.
Lit bactérien	25,57
Bruyère	24,84

Dans cette expérience, comme dans celle qui se rapporte à l'action du nitrite de soude formé sur le ferment nitreux, les chiffres obtenus pour le nitrate ne peuvent correspondre exactement aux doses de nitrite ajoutées, car nous n'avons pas tenu compte de la concentration et des légers changements de volume dus à l'addition des doses successives de nitrite, notre but étant simplement de déterminer la proportion de nitrate nuisible au ferment nitrique. Nous voyons que cette proportion est de 25 grammes par litre environ.

Il est curieux de constater qu'à l'inverse des autres espèces microbiennes, le ferment nitrique est plus gêné par la concentration du produit auquel il s'attaque (nitrite) que par la concentration du produit qu'il forme (nitrate). En effet, le nitrite à la dose de 10 grammes par litre arrête la marche du ferment, même soumis à l'accoutumance, tandis que le nitrate formé ne l'arrête qu'à la dose de 25 grammes par litre.

Influence de l'addition de divers nitrates. — Nous avons voulu voir si l'addition de doses variables de nitrates dans le milieu, avant l'ensemencement du ferment nitrique, produit une action nocive analogue à celle du nitrite de soude sur le nitreux. 20 centimètres cubes de milieu minéral à 1 gramme par litre de nitrite de soude ont reçu des doses croissantes de 1 à 100 grammes par litre de divers nitrates (potasse, soude, chaux, magnésie). On a ensemencé les deux ferments Bruyère

et Lit bactérien, et noté la durée de la nitrification. Voici les résultats obtenus :

Durée de la nitrification :

Dose en gr. par litre.	Nitrate de soude. Bruyère.	Nitrate de soude. Lit. bact.	Nitrate de potasse. Bruyère.	Nitrate de potasse. Lit bact.	Nitrate de chaux. Bruyère.	Nitrate de chaux. Lit. bact.	Nitrate de magnésie. Bruyère.	Nitrate de magnésie. Lit. bact.
1	7 jours	8 jours	7 jours	8 jours	7 jours	7 jours	7 jours	7 jours
2	7 —	8 —	7 —	8 —	7 —	7 —	7 —	7 —
4	7 —	8 —	7 —	8 —	7 —	7 —	7 —	7 —
8	7 —	8 —	7 —	8 —	7 —	7 —	7 —	7 —
10	8 —	11 —	7 —	8 —	10 —	7 —	7 —	7 —
20	2 mois	2 mois	15 mois	15 mois	incomp.	incomp.	12 mois	12 mois
100	incomp.	incomp.	incomp.	incomp.	—	—	incomp.	incomp.

Témoins sans addition de nitrates : durée de la nitrification. . . . . . { Bruyère. . . . . 7 jours. / Lit bactérien . . 7 —

Nous constatons que le phénomène observé avec les nitrites de soude et de potasse sur les ferments nitreux ne se produit pas ici. Le nitrate de soude ne commence à être nuisible qu'au delà de 10 grammes par litre environ. Cependant, les milieux qui contiennent 20 grammes par litre de ce sel ont nitritifié complètement au bout de deux mois. Le nitrate de potasse gêne moins ; la nitrification est à peine retardée de quelques jours par une dose de 20 grammes par litre. Le nitrate de chaux est beaucoup plus nuisible; au delà de 10 grammes par litre, la formation de nitrate s'arrête. Le nitrate de magnésie n'a aucune action tant que la concentration ne dépasse pas 20 grammes par litre.

Des expériences complémentaires nous ont montré que le nitrate de soude gêne le développement du ferment nitrique à la dose de 20 grammes par litre, les nitrates de potasse et de magnésie à la dose de 25 grammes, le nitrate de chaux à la dose de 12 grammes.

Les expériences qui précèdent n'ont porté que sur un seul sel ammoniacal, le sulfate d'ammoniaque et sur les nitrites et nitrates alcalins ou alcalino-terreux. Nous avons cherché à les compléter par l'étude de la formation des divers nitrites et de la nitrification des divers sels ammoniacaux par le ferment nitreux, ainsi que de l'oxydation des divers nitrites par le ferment nitrique.

Formation de divers nitrites par le ferment nitreux. — On peut d'abord se demander si toutes les bases carbonatées peuvent être indifféremment employées pour saturer l'acide nitreux formé par le microbe, et si les divers nitrites ainsi obtenus n'ont pas une action nocive sur la nitrification. Pour élucider cette question, nous avons remplacé dans le milieu ordinaire, à 2 grammes par litre de sulfate d'ammoniaque, le carbonate de magnésie par un autre carbonate, de manière à former ainsi le nitrite correspondant à la base carbonatée.

Nous avons pu ainsi constater la nitrification du sulfate d'ammoniaque en présence des carbonates de magnésium, de calcium, de baryum, de strontium, de zinc, de plomb, de nickel, de manganèse, de cuivre, de fer, de bismuth, etc. Le ferment nitreux peut donc s'accommoder parfaitement de toutes les bases carbonatées communes.

Nitrification des divers sels ammoniacaux. — Dans les milieux où s'exerce dans la nature l'action du ferment nitreux, l'ammoniaque peut se trouver combinée à un très grand nombre d'acides minéraux ou organiques. Il est dès lors intéressant de savoir si ces divers sels ammoniacaux subissent également la fermentation nitreuse, et si les acides auxquels l'ammoniaque se trouve combinée, en particulier les acides organiques, n'exercent pas sur le microbe une influence défavorable.

Pour résoudre ce problème, nous avons essayé de faire nitrifier un certain nombre de sels d'ammoniaque. La proportion employée pour chaque sel correspondait à $0^{gr},257$ d'ammoniaque par litre, ce qui équivaut à une dose de 1 gramme par litre de sulfate d'ammoniaque.

Dans ces conditions, nous avons obtenu une nitrification complète avec les sels d'ammoniaque suivants : arséniate, azotate, azotite, borate, bromure, carbonate, chlorure, fluorure, hyposulfite, phosphate, phosphate ammoniaco-magnésien, sulfate, sulfite, sulfure, acétate, formiate, lactate, malate, succinate, tartrate et urate. L'arsénite, l'iodure, le citrate et l'oxalate ne nitrifient qu'à une dose plus faible ($0^{gr},5$ à 1 gramme par litre).

Le chlorhydrate d'hydroxylamine n'est pas attaqué par le ferment nitreux, même aux doses faibles.

Le ferment nitreux est peu sensible à certains sels qui présentent, pour les autres microbes, des propriétés antiseptiques : par exemple, les solutions de borate et de fluorhydrate d'ammoniaque à 2 grammes par litre nitrifient très rapidement.

Des expériences complémentaires nous ont permis de voir qu'on pouvait augmenter beaucoup la proportion de la plupart des sels organiques d'ammoniaque sans gêner la nitrification. Ainsi, le ferment nitreux transforme entièrement le lactate, la malate et le succinate d'ammoniaque à la dose de 10 grammes par litre; le tartrate, l'acétate, le formiate et l'urate à la dose de 6 grammes. Les nitrites formés dans ces conditions nitrifient également sans difficultés par le ferment nitrique.

Nous pouvons donc conclure que les microbes de la nitrification sont peu sensibles à la présence de certaines substances organiques, tels que les sels des acides organiques communs, et qu'il n'est pas nécessaire que ces sels soient au préalable décomposés par des microbes pour que la nitrification puisse s'implanter dans les liquides qui les contiennent.

Nitrification de divers nitrites par le ferment nitrique. — Il restait à voir si le ferment nitrique peut nitrifier la plupart des nitrites. Voici ce que nous avons observé sous ce rapport :

A la dose de $0^{gr},5$ à 1 gramme par litre, le ferment nitrique oxyde à peu près tous les nitrites. Nous avons expérimenté avec les nitrites de potassium, de sodium, de calcium, de magnésium, de baryum, de zinc, de plomb, de manganèse, de cuivre, etc., et nous avons observé partout une nitrification complète. Donc, dans la pratique, la base à laquelle est combiné l'acide nitreux n'a que peu d'importance; cependant, l'oxydation paraît se faire plus aisément avec les nitrites alcalins ou alcalino-terreux, surtout à forte dose.

Pour étudier de plus près l'oxydation des sels ammoniacaux et des nitrites par les microbes nitrificateurs, nous avons suivi la marche du phénomène en faisant chaque jour des prises d'échantillons avec des pipettes flambées et en dosant le nitrite ou le nitrate formé. Voici quelques expériences de cette nature.

1° *Fermentation nitreuse.* — 1 000 centimètres cubes de milieu minéral à 2 grammes par litre de sulfate d'ammoniaque. Base carbonatée; carbonate de chaux. Ensemencement le 12/9 avec le ferment Java. Le tableau suivant indique la marche de l'oxydation.

Dates.	Réactions Ne	Réactions Tr.	Nitrite formé en gr. de AzO^2Na par litre.	Augmentation de nitrite par litre et par jour en gr. de AzO^2Na.
12 septembre	+	o	»	»
15 —	+	f	traces	»
17 —	+	f	»	»
19 —	+	+	0,224	»
21 —	+	+	0,428	0,102
23 —	+	+	0,582	0,077
25 —	+	+	0,745	0,081
28 —	+	+	1,007	0,087
30 —	+	+	1,194	0,093
3 octobre	s	+	1,445	0,084
5 —	f	+	1,582	0,070
7 —	o	+	1,714	»

(*Ne*, réaction au Nessler; *Tr*, réaction au Trommsdorff; *o*, nulle; *f*, faible; *s*, sensible; +, intense).

Nous voyons qu'il y a d'abord une période d'incubation de six jours pendant laquelle le ferment semble ne pas travailler. Puis apparaissent brusquement les nitrites, et l'oxydation se poursuit d'une façon à peu près très régulière, sans augmenter ni diminuer d'intensité, jusqu'à la disparition complète de l'ammoniaque. Dans cette expérience, la vitesse de nitrification de l'ammoniaque est d'environ 90 milligrammes de nitrite formé par litre et par jour. La transformation de l'ammoniaque est si complète que le réactif de Nessler, pourtant très sensible, n'indique plus trace d'ammoniaque dans le liquide.

L'activité de l'oxydation par notre ferment nitreux correspond à peu près à celle que signale M. Winogradsky dans son cinquième mémoire sur la nitrification [1], c'est-à-dire 20 milligrammes d'azote ammoniacal oxydé par jour.

2° *Fermentation nitrique.* — 1 000 centimètres cubes de milieu minéral à 1 gramme par litre de nitrite de soude. Ensemencement le 5/9 avec le ferment Bruyère. On a pris chaque

[1] *Annales de l'Institut Pasteur*, 1891, p. 609.

jour la réaction au Trommsdorff, puis la réaction à la diphénylamine après destruction des nitrites, et on a dosé le nitrate formé. Le tableau suivant résume la marche de l'oxydation :

Dates.	RÉACTIONS Tr.	Di	Nitrate formé en gr. de AzO^3Na par litre.	Augmentation de nitrate par jour et par litre en gr. de AzO^3Na.
5 septembre	+	f	traces	»
7 —	+	+	0,200	»
9 —	+	+	0,334	0,067
11 —	+	+	0,466	0,066
14 —	+	+	0,734	0,090
16 —	f	+	1,085	0,175
17 —	o	+	1,157	»

Nous voyons qu'ici la période d'incubation est beaucoup plus courte. Le nitrate apparaît après quarante-huit heures, l'oxydation est d'abord assez lente pendant les cinq ou six premiers jours, et la quantité de nitrate formé est d'environ 70 milligrammes d'azotate de soude par litre et par jour. Mais bientôt le phénomène s'accélère : dans les trois jours suivants, il s'est formé en moyenne 90 milligrammes d'azotate de soude par litre et par jour, et, dans les derniers jours, 175 milligrammes, soit presque une quantité triple de celle qui se formait au début. Comme pour le ferment nitreux, l'oxydation est ici absolument complète, et, au bout de douze jours, le réactif iod-amylique, pourtant très sensible, ne décelait plus trace de nitrite.

La vitesse de l'oxydation est ici très supérieure à celle qui a été observée par M. Winogradsky pour le ferment nitrique [1]. Ce savant n'a obtenu, avec un ferment d'une énergie exceptionnelle et au bout de six semaines de culture, que 10 milligrammes d'azote nitreux oxydé par jour. Nous voyons qu'en douze jours, y compris la période d'incubation, notre ferment nitrique a oxydé environ 200 milligrammes d'azote nitreux, soit en moyenne 16 milligrammes par jour, et que cette quantité a atteint à un moment donné 30 milligrammes.

Ce ferment paraît donc beaucoup plus actif que celui de M. Winogradsky, et sa puissance est certainement supérieure

[1] *Annales de l'Institut Pasteur*, 1891, p. 610.

à celle de notre ferment nitreux. Nous en trouverons d'autres preuves bientôt.

IV. Fermentations des deux microbes nitrificateurs en symbiose. — Il semble difficile à première vue de réaliser au laboratoire la culture symbiotique véritable de deux organismes, c'est-à-dire la transformation simultanée du sel ammoniacal en nitrite par le ferment nitreux et du nitrite en nitrate par le ferment nitrique. En effet, la plupart des expérimentateurs qui se sont occupés de la nitrification ont constaté que l'ammoniaque passe d'abord à l'état de nitrite, et que l'oxydation du nitrite ne commence que quand la phase nitreuse est terminée. Il y a donc action successive des deux microbes et non pas symbiose.

M. Winogradsky avait donné, en 1891, une première explication de ce fait. D'après ce savant, le ferment nitreux, beaucoup plus actif que le ferment nitrique, étouffe au début la végétation de ce dernier microbe, qui ne peut se multiplier que quand la fermentation nitreuse est terminée.

Dans le milieu terre, la symbiose qu'on observe toujours était due, d'après M. Winogradsky, à la porosité du milieu[1].

Au contraire, M. Warington[2] expliquait le phénomène par une action paralysante de l'ammoniaque sur le ferment nitrique.

Les résultats que nous avons signalés plus haut au sujet de l'activité des deux ferments font considérer la première hypothèse comme très peu probable. D'ailleurs, MM. Winogradsky et Oméliansky ont reconnu depuis que l'hypothèse de M. Warington est parfaitement exacte et ils ont démontré d'une façon précise que l'ammoniaque exerce sur le ferment nitrique une action déprimante très énergique[3]. La dose de 5 milligrammes d'ammoniaque par litre sous forme de sulfate d'ammoniaque retarde nettement la marche du ferment, la dose de 150 milligrammes par litre l'arrête complètement.

MM. Winogradsky et Oméliansky se sont basés sur cette sensibilité du ferment nitrique à l'ammoniaque pour expliquer

(1) *Annales de l'Institut Pasteur*, 1891, p. 612.
(2) *Proceedings of the chem. Soc.*, n° 98, 1891.
(3) *Archives des Sciences biologiques de Saint-Pétersbourg*, t. VII, p. 233.

les phénomènes qui se passent dans la nitrification dans la nature. D'après ces auteurs, les germes du ferment nitrique, paralysés par les plus petites traces d'ammoniaque, restent à l'état de repos jusqu'à disparition complète de ce corps, et leur action ne commence à se manifester, après incubation plus ou moins longue, que lorsque la fermentation nitreuse est complètement terminée.

Cette manière de voir est parfaitement conforme aux faits quand on examine les expériences de symbiose entreprises au laboratoire. Nous allons voir en effet que, dans la plupart des cas, la fermentation nitreuse s'établit d'abord et la fermentation nitrique n'apparaît que quand la première est à peu près terminée. Mais dans la pratique, cette opinion est directement contredite par les faits. On voit couramment la symbiose se produire dans les lits bactériens d'épuration des eaux résiduaires, en présence de doses d'ammoniaque parfois très élevées. Il se forme simultanément de faibles quantités de nitrites et de fortes quantités de nitrates et les eaux après épuration contiennent encore de l'ammoniaque non oxydée. Les deux phénomènes sont donc superposés et non pas successifs. Citons comme exemple la nitrification des eaux des abattoirs de Lille, contenant jusqu'à 210 milligrammes d'ammoniaque libre ou saline par litre, qui s'est effectuée sans difficultés, la majeure partie de l'ammoniaque passant à l'état de nitrates avec une formation intermédiaire de nitrites presque insensible (1). Cette dose d'ammoniaque est supérieure à celle qui arrête complètement la marche du ferment nitrique. On sait, en outre, par les expériences de M. Schlœsing (2), que des doses considérables d'ammoniaque n'empêchent nullement l'action du ferment nitrique dans la terre. Ces faits nous conduisent à penser qu'il doit exister un mécanisme qui permet dans certaines conditions la marche symbiotique des deux organismes.

Dans le but d'élucider cette question, nous avons fait plusieurs essais de culture des deux microbes nitrificateurs associés. Nous en rapporterons ici deux seulement.

(1) Dr A. Calmette. Les Procédés biologiques d'épuration des eaux résiduaires. *Revue d'hygiène*, t. XXIII, mars 1901.
(2) C. R. de l'Académie des Sciences, t. CIX.

Première expérience. — 1000 centimètres cubes de milieu minéral à 2 grammes par litre de sulfate d'ammoniaque. Base carbonatée : carbonate de chaux. Ensemencement simultané du ferment nitreux Java et du ferment nitrique Bruyère le 12/9. On a fait chaque jour une prise d'échantillon, noté les réactions au Nessler, au Trommsdorff et à la diphénylamine (après destruction des nitrites), et on a dosé le nitrite et le nitrate produits. Le tableau suivant résume la marche de la fermentation :

Dates.	Réactions Ne	Tr	Di	Nitrite formé en gr. de AzO^2Na par litre.	Nitrate formé en gr. de AzO^3Na par litre.
12 septembre	+	f	f	»	»
18 —	+	+	f	0,175	0,158
21 —	+	+	f	0,541	0,156
28 —	+	+	f	0,820	0,159
30 —	+	+	f	0,945	0,157
5 octobre	+	+	f	1,306	0,222
8 —	+	+	f	1,512	0,217
10 —	o	+	+	1,504	0,621
12 —	»	+	+	»	1,545
14 —	»	o	+	o	2,211

Les conclusions à tirer sont nettes : il n'y a pas eu symbiose, mais action successive des deux organismes. Le ferment nitreux a d'abord transformé tout le sulfate d'ammoniaque en nitrite, et ce n'est que quand cette transformation a été complète que le nitrique a attaqué le nitrite. Il semble bien y avoir eu une tentative de multiplication du ferment nitrique vers le 5/10, un peu avant la fin de la fermentation nitreuse, mais l'augmentation en nitrates est restée faible tant que le réactif de Nessler a indiqué de l'ammoniaque. Remarquons aussi la puissance extraordinaire d'oxydation de notre ferment nitrique dans cette expérience : en six jours, tout le nitrite est passé à l'état de nitrate, soit en moyenne 50 milligrammes d'azote nitreux oxydé par jour.

Deuxième expérience. — Nous avons alors voulu nous rendre compte si, en cultivant les deux ferments dans un grand ballon en présence de scories, on ne peut pas favoriser la symbiose. On imite ainsi ce qui se passe dans la pratique de l'épuration des eaux résiduaires par les procédés biologiques. 1200 centimètres cubes de liquide minéral à $1^{gr},8$ de sulfate d'ammo-

niaque par litre ont été placés dans un grand ballon à fond plat, contenant des scories jusqu'à 2 centimètres au-dessus du niveau du liquide. Ensemencement simultané des deux ferments le 12/9. Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

Dates.		Réactions Ne	Tr	Di	Nitrite produit en gr. de AzO^2Na par litre.	Nitrate produit en gr. de AzO^3Na par litre.
12	septembre	+	f	f	»	»
17	—	+	+	f	0,222	0,125
19	—	+	+	f	»	0,127
21	—	+	+	f	1,064	0,123
22	—	+	+	f	»	0,171
23	—	f	+	+	1,298	0,230
24	—	o	+	+	»	0,428
25	—	»	+	+	»	0,779
26	—	»	+	+	»	1,343
27	—	»	f	+	»	1,802
28	—	»	o	+	o	1,884

Nous voyons ici que la symbiose s'est effectuée pendant un temps très court, quand le taux d'ammoniaque est devenu faible. Mais l'augmentation de nitrates n'a été rapide qu'à la fin de la fermentation nitreuse. Le résultat est en somme à peu près identique à celui de l'expérience précédente : fermentation nitreuse d'abord, puis fermentation nitrique intense qui a amené en cinq jours tout le nitrite à l'état de nitrate.

La marche du phénomène a encore été identique avec un ensemencement très copieux : 100 centimètres cubes de fermentation nitreuse et de 100 centimètres cubes de fermentation nitrique pour 1 litre de liquide. Les deux fermentations ont toujours été successives.

Symbiose des deux organismes. — Dans ses premières études sur les microbes nitrificateurs, M. Winogradsky[1], en recherchant les causes de la formation des nitrites dans les cultures en voie de nitrification, signale une observation qui, rapprochée de ce que nous savons aujourd'hui sur l'action de l'ammoniaque sur le ferment nitrique, revêt un caractère particulièrement intéressant. Sur une nitrification qui a donné successivement des nitrites et des nitrates, M. Winogradsky rajoute une très faible quantité de sulfate d'ammoniaque (4 milligrammes) et

(1) *Annales de l'Institut Pasteur*, 1891, p. 587.

renouvelle cette addition chaque fois que les nitrites ont disparu. Dans ces conditions, on observe le passage direct de l'ammoniaque à l'état de nitrates, comme dans le phénomène naturel. En rajoutant des doses plus fortes de sulfate d'ammoniaque, les nitrites réapparaissent. Il était difficile alors de préciser cette observation et d'en donner une explication plausible. La seule conclusion à tirer était que la production des nitrites ou des nitrates dans la nitrification dépend non pas des qualités physiques ou chimiques du milieu, mais est d'ordre biologique.

Les notions acquises depuis sur l'action de l'ammoniaque sur le ferment nitrique rendent l'observation de M. Winogradsky encore plus singulière. Nous avons donc dirigé nos recherches dans cette voie, qui nous paraissait susceptible de nous donner une explication précise des phénomènes de symbiose.

Dans le matras à scories de notre deuxième expérience, qui vient de terminer sa nitrification par le mécanisme que nous avons indiqué, enlevons aseptiquement le liquide, et rajoutons maintenant 1 litre de nouveau milieu minéral à 1gr,8 environ de sulfate d'ammoniaque par litre. Ces opérations se font aisément dans ces grands matras munis de tubulures latérales. Faisons de temps à autre des prises d'échantillons pour nous rendre compte de la marche du phénomène.

Les résultats obtenus vont être tout à fait différents. Nous allons voir apparaître la symbiose parfaite des deux organismes, symbiose qui va se continuer désormais de la façon la plus régulière. Voici, en effet, les résultats des dosages effectués à intervalles de vingt-quatre heures en moyenne :

Dates.	Réactions Ne	Tr	Di	Nitrite formé en gr. de AzO^2Na par litre.	Nitrate formé en gr. de AzO^3Na par litre.
7 octobre	+	o	+	0	0.537
10 —	+	f	+	traces	»
12 —	+	s	+	0,148	0,825
13 —	+	s	+	0,146	0,951
15 —	+	s	+	0,191	1,186
16 —	+	f	+	traces	1,426
17 —	+	o	+	0	1,752
19 —	s	o	+	0	2,256
20 —	o	o	+	0	2,254

Réactions : *o*, nulle; *f*, faible; *s*, sensible; +, forte.

Ce tableau nous montre que le taux des nitrites a toujours été très faible dans le liquide, et que les nitrates ont augmenté progressivement depuis le début jusqu'à la disparition complète de l'ammoniaque. Malgré la dose de 460 milligrammes d'ammoniaque par litre, les deux fermentations ont été simultanées et non successives, et il y a eu véritable symbiose des deux organismes dans un milieu riche en ammoniaque.

Cette expérience a été renouvelée d'une autre manière. Nous avons effectué d'abord une première nitrification qui a donné lieu aux deux fermentations successives; puis, sans retirer le liquide nitrifié, nous avons ajouté une nouvelle dose de 2 grammes par litre de sulfate d'ammoniaque, sous forme d'une solution stérile. La symbiose s'est produite aussitôt et s'est poursuivie jusqu'à disparition complète de l'ammoniaque. Nous avons alors ajouté une troisième dose de 2 grammes de sulfate d'ammoniaque par litre, qui a nitrifié dans les mêmes conditions; puis une quatrième dose pour laquelle la nitrification symbiotique s'est encore produite. Nous n'avons pas cru utile de pousser l'expérience plus loin, car elle pouvait se compliquer d'influences qui n'ont rien de commun avec le problème.

Nous avons enfin réalisé la même expérience sur une nitrification en milieu liquide, sans présence de scories. Les résultats ont été identiques : la première nitrification a donné lieu aux deux fermentations successives, la seconde à la symbiose.

Lorsqu'on place les deux microbes dans des conditions de culture exceptionnellement favorables, on peut même arriver à produire du premier coup la symbiose dans le milieu minéral à 2 grammes par litre de sulfate d'ammoniaque. Il suffit pour cela d'employer la méthode que nous avons indiquée dans notre premier mémoire, c'est-à-dire d'ensemencer très copieusement (100 centimètres cubes pour 1 litre), les deux ferments dans de petits tonneaux roulants en verre remplis de scories, stérilisés et parcourus par un courant d'air stérile. La nitrification s'effectue alors complètement en symbiose avec une formation intermédiaire de nitrites presque insensible.

Les résultats sont encore plus nets avec la culture pure des deux organismes dans un long tube de verre vertical, de 6 centimètres de diamètre, composé de trois morceaux de

80 centimètres superposés, stérilisables séparément et remplis de scories. Cet appareil correspond en somme parfaitement à l'appareil vertical allemand pour la fabrication du vinaigre. Il recevait à la partie supérieure goutte à goutte la solution minérale à 2 grammes par litre de sulfate d'ammoniaque, fortement ensemencée par les deux ferments : le liquide recueilli à la partie inférieure était remonté, par une petite pompe à air stérilisé dans le réservoir du haut. Tout l'appareil, dans lequel les microbes nitrificateurs étaient maintenus à l'état pur, était parcouru par un très lent courant d'air filtré sur coton, et chaque tube portait une tubulure de prise d'échantillon. Dans ce « nitrificateur vertical », le phénomène a été d'une intensité extrême. Les trois tubes ont donné indistinctement du premier coup peu ou pas de nitrites et beaucoup de nitrates, jusqu'à disparition de l'ammoniaque. La symbiose était donc complète partout.

Mais ce sont là des conditions exceptionnelles, et dans les procédés de culture ordinaires du laboratoire, le phénomène se passe toujours comme nous l'avons indiqué plus haut : les deux fermentations sont d'abord successives, et ne deviennent simultanées qu'après une première nitrification qui a permis le développement des deux organismes.

Ces diverses observations nous conduisent à la nécessité d'une étude plus précise de l'action de l'ammoniaque sur le ferment nitrique. Les résultats qui précèdent semblent indiquer que si l'ammoniaque agit très énergiquement sur le ferment nitrique « végétal » et gène beaucoup sa multiplication, elle paraît très peu active sur la fonction oxydante du microbe développé. Ainsi s'expliqueraient les résultats opposés de la nitrification au laboratoire et dans la nature. Au laboratoire, on ensemence le microbe, généralement en petite quantité, dans le milieu ammoniacal, et la multiplication du ferment nitrique se fait mal : d'où pas de symbiose. Dans la nature, au contraire, nous sommes ordinairement en présence de supports peuplés, comme le sol et les lits bactériens d'épuration, supports en voie de nitrification continue : c'est le cas de notre dernière expérience, dans lequel la symbiose est la règle.

V. Action de l'ammoniaque sur le ferment nitrique. — L'action de l'ammoniaque sur le ferment nitrique a été mise pour la première fois nettement en évidence par MM. Winogradsky et Omélìansky [1]. Mais ces savants se sont bornés au simple examen de la réaction nitritée, qui ne peut indiquer si la nitrification a été nulle ou partielle. Nous avons donc d'abord répété leur expérience en ensemençant le ferment nitrique dans le milieu minéral à 1 gramme par litre de nitrite de soude, en présence de doses croissantes de sulfate d'ammoniaque, et au bout de deux mois environ, nous avons dosé le nitrite restant dans les matras qui n'avaient pas terminé leur nitrification. L'ensemencement a été assez fort, 1 centimètre cube de culture jeune pour 25 centimètres cubes de milieu. Voici les résultats obtenus :

Action sur le ferment de l'ammoniaque ajoutée avant l'ensemencement.

Ammoniaque en gr. p. litre de liquide.	Réactions au Tr. Date de l'ensemencement. Octobre.					Novembre.					Déc.			Durée de la nitrification.	Nitrite initial en gr. de AzO^2Na par litre.	Nitrite restant en gr. de AzO^2Na par litre.
	20	27	28	29	30	4	5	6	14	16	2	6	12			
0 témoin	+	s	o											8 jours	1,081	0
0,00515	+	+	+	s	o									10 —	»	0
0,0105	+	+	+	+	+	s	o							16 —	»	0
0,0206	+	+	+	+	+	+	s	s	o					17 —	»	0
0,0412	+	+	+	+	+	+	+	s	o					27 —	»	0
0,0824	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	s	f	o	53 —	»	0
0,1236	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	incomp.	»	0,507
0,1648	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	»	»	0,850
0,2575	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	»	»	0,891
0,4120	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	»	»	0,914
0,721	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	»	»	0,952
1,030	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	»	»	0,951
1,540	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	»	»	0,957
2,040	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	»	»	»

Nous arrivons donc ici aux mêmes conclusions que MM. Winogradsky et Omélìansky. Depuis la dose de 5 milligrammes d'ammoniaque par litre, les durées de nitrification s'allongent de plus en plus, et, pour 82 milligrammes le retard sur le témoin atteint quarante-cinq jours. Pour les doses supérieures, le réactif de Trommsdorff indiquait encore après deux mois la présence de fortes quantités de nitrites.

[1] *Archives des Sciences biologiques de Saint-Pétersbourg*, t. VII, p. 233.

Si nous examinons les résultats des dosages, nous constatons que le ferment nitrique a agi partout. A la dose de 164 milligrammes, dose limite indiquée par MM. Winogradsky et Omélianskỵ, il n'y a plus qu'un cinquième environ qui a nitrifié. Aux doses d'ammoniaque supérieures, la diminution de nitrites est faible et à peu près la même partout. Il semble donc y avoir une dose, voisine de 160 à 180 milligrammes d'ammoniaque par litre, au delà de laquelle on n'observe qu'une légère transformation due aux microbes jeunes introduits par la semence.

Plaçons-nous maintenant dans le cas de notre symbiose. Faisons d'abord nitrifier le ferment nitrique sur une dose de 2 grammes par litre de nitrite; puis, quand la nitrification est terminée, rajoutons une nouvelle dose de nitrite et en même temps des doses croissantes de sulfate d'ammoniaque sous forme de solutions stériles. Voici ce que nous observerons :

Action de l'ammoniaque sur le ferment nitrique en voie de nitrification. — Addition de nitrite le 26 novembre.

Ammoniaque en gr. p. l. de liquide.	Réactions au Tr. Dates. Novembre.					Décembre			Nitrite ajouté en gr. de AzO^2Na p. litre.	Nitrite restant en gr. de AzO^2Na p. litre.
	26	27	28	29	30	1	5	12		
0 témoin	+	+	s	o					1,080	0
0 »	+	+	s	o					»	0
0 »	+	+	+	s	o				»	0
0,0046	+	+	s	o					»	0
0,0092	+	+			o				»	0
0,0184	+	+	s	f	o				»	0
0,0368	+	+	s	f	o				»	0
0,0736	+	+	s	f	o				»	0
0,1104	+	+	s	f	o				»	0
0,1472	+	+	+	s	f	f	f	f	»	traces
0,2298	+	+	+	+	s	f	f	f	»	»
0,3680	+	+	+	+	s	f	f	f	»	»
0,6437	+	+	+	+	s	f	f	f	»	»
0,9200	+	+	+	+	s	f	f	f	»	»
1,5794	+	+	+	+	+	s	s	s	»	0,150
1,8400	+	+	+	+	+	s	s	s	»	0,180

Réactions : *o*, nulle; *f*, faible; *s*, sensible; +, intense.

Quand on ajoute du sulfate d'ammoniaque sur un ferment nitrique en voie de nitrification, on observe donc les phénomènes suivants :

1° Il n'y a pas de retard dans la nitrification jusqu'aux doses de 110 milligrammes d'ammoniaque par litre;

2° Jusqu'aux doses de 2 grammes par litre, le retard est peu accusé et atteint à peine quarante-huit heures, mais l'oxydation du nitrite n'est pas absolument intégrale, et il reste au Trommsdorff une petite réaction bleutée qui ne disparaît que très lentement. Les quantités de nitrite restant ne sont pourtant dosables que pour les proportions de $1^{gr},57$ à $1^{gr},84$ d'ammoniaque par litre, où elles atteignent environ 150 à 180 milligrammes de nitrite par litre, sur 1,080 introduits.

Ces résultats concordent parfaitement avec ceux que nous avons obtenus dans la culture des deux organismes en symbiose et donnent l'explication du phénomène. L'ammoniaque agit sur le ferment nitrique surtout en gênant sa multiplication, et il faut atteindre des doses très fortes d'ammoniaque pour retarder légèrement la fonction oxydante du microbe.

On peut se demander, dans toutes les expériences qui ont été faites jusqu'ici sur l'action des sels ammoniacaux sur le ferment nitrique, si l'action nocive observée sur le ferment nitrique provient du sel ammoniacal ou de l'ammoniaque libre. Le milieu minéral de Winogradsky et Oméliansky contient, en effet, 1 pour 1000 de carbonate de soude sec, et quand on introduit dans ce milieu du sulfate d'ammoniaque, il se produit du carbonate d'ammoniaque qui se décompose lui-même en donnant de l'ammoniaque. D'autre part, Winogradsky et Oméliansky ont établi que le carbonate de soude est indispensable pour la culture du ferment nitrique. Il est possible que les sels ammoniacaux soient sans action sur le ferment nitrique et que seuls l'ammoniaque libre et le carbonate d'ammoniaque qui en dégage sans cesse, gênent ce ferment. Cette idée a été émise récemment, mais sans démonstration expérimentale, par M. Löhnis.

Réduisons la dose de carbonate de soude dans le milieu de culture où nous ajoutons du sulfate d'ammoniaque. Il est clair qu'en diminuant la dose de carbonate de soude, nous diminuerons celle du carbonate d'ammoniaque formé, et, par suite, celle de l'ammoniaque libre.

Expérience. — 24 matras Pasteur reçoivent chacun 20 cm^3

du milieu Winogradsky et Oméliansky, mais sans carbonate de soude; nitrite de soude, 1 gramme; phosphate de potasse, 0^{gr},5; chlorure de sodium, 0^{gr},5; sulfate ferreux, 0^{gr},4; sulfate de magnésie, 0^{gr},3; eau distillée, 1000 cm^3. On ajoute à ce milieu des doses de carbonate de soude croissantes de 0^{gr},15 à 1 gramme par litre. Après stérilisation, les matras sont divisés en trois séries : l'une α, reçoit 1 cm^3 d'eau distillée stérile (témoin); la deuxième, β, reçoit 1 pour 1000 de sulfate d'ammoniaque sous la forme de 1 cm^3 d'une solution stérile à 2 pour 100; la troisième, γ, reçoit 2 pour 1000 de sulfate d'ammoniaque sous la forme de 1 cm^3 d'une solution stérile à 4 pour 100. Tous les matras sont alors ensemencés avec 1/5 de centimètre cube d'une culture pure de ferment nitrique. Le tableau suivant indique la durée des nitrifications :

Doses de carbonate de soude.	Série α	Série β	Série γ
1 gr. pour 1000	6 jours	incomplète	manque
0,75 —	5 —	id.	id.
0,5 —	5 —	30 jours	id.
0,4 —	5 —	10 —	11 jours
0,3 —	5 —	7 —	10 —
0,25 —	5 —	5 —	5 —
0,20 —	4 —	5 —	6 —
0,15 —	7 —	5 —	7 —

Cette expérience permet de tirer les conclusions suivantes :

1° La dose de 1 pour 1000 de carbonate de soude n'est pas nécessaire au ferment nitrique; cette dose peut descendre sans inconvénient à 0^{gr},2 pour 1000 dans le milieu Winogradsky et Oméliansky complet;

2° Si la dose de carbonate de soude dans ce milieu n'est pas supérieure à 0^{gr},25 par litre, la durée de transformation du nitrite par le ferment est indépendante de la présence ou de l'absence du sulfate d'ammoniaque.

3° L'action nocive observée par Winogradsky et Oméliansky dans le milieu ordinaire provient de l'ammoniaque libre mise en liberté par la dose de 1 pour 1000 de carbonate de soude, et le sel ammoniacal ne gêne pas la nitrification nitrique si le milieu ne contient pas de substances capables de déplacer l'ammoniaque en quantités suffisantes pour empêcher le développement du ferment nitrique.

Nous retrouverons plus loin ces notions pour l'explication des phénomènes de nitrification dans la nature.

VI. **Conclusions.** — Les expériences décrites ci-dessus nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

1° Les ferments nitreux sont tués par un chauffage de 5 minutes à 45°, les ferments nitriques par un chauffage de même durée à 55° ;

2° La température optima de culture par les ferments nitreux et nitriques est de 37° ;

3° La marche de la nitrification est considérablement accélérée par la culture des ferments nitrificateurs sur scories, surtout lorsqu'il s'agit de cultures pures d'expériences, quand celles-ci sont placées dans de petits tonneaux auxquels on fait subir de temps à autre une révolution ;

4° La production de nitrites est arrêtée quand on cultive les ferments nitreux dans des liquides contenant 30 à 50 grammes par litre de sulfate d'ammoniaque ;

5° La marche du ferment nitreux se trouve ralentie quand il a produit 8 à 10 grammes de nitrite de magnésie par litre ; quand cette proportion atteint 13 à 15 grammes, la nitrification s'arrête ;

6° La présence de nitrites de potasse ou de soude dans les milieux où on ensemence les ferments nitreux gêne considérablement la multiplication de ce ferment, et allonge la durée de la nitrification. Les nitrites de chaux et de magnésie produisent une action analogue, mais beaucoup moins accusée ;

7° La présence de nitrates de soude ou de potasse dans les milieux où on a ensemencé les ferments nitreux gêne, même à des doses faibles (1 à 5 grammes par litre), le développement de ce ferment. Les nitrates de chaux et de magnésie ne gênent qu'aux concentrations fortes (1 pour 100 au moins) ;

8° La transformation des nitrites en nitrates par le ferment nitrique devient d'autant plus difficile que la concentration du milieu en nitrite est plus forte. Quand la proportion de nitrite atteint 20 grammes par litre, il n'y a plus de nitritation ;

9° La marche du ferment nitrique est arrêtée par le nitrate de soude produit, quand sa proportion atteint environ 25 grammes par litre ;

10° La présence de nitrates de potasse, de soude ou de magnésie dans les liquides où on ensemence le ferment nitrique ne gêne pas son développement tant que la proportion de ces sels n'atteint pas 20 ou 25 grammes par litre. Le nitrate de chaux ralentit la nitritation à la dose de 12 grammes par litre;

11° La nitrification peut être obtenue avec la plupart des sels ammoniacaux : arséniate, azotate, azotite, borate, bromure, carbonate, chlorure, fluorure, hyposulfite, phosphate, phosphate ammoniaco-magnésien, sulfate, sulfite, sulfure, acétate, formiate, lactate, malate, succinate, tartrate et urate. L'arsénite, l'iodure, le citrate et l'oxalate ne nitrifient qu'à dose faible (0 gr. 5 à 1 gramme par litre);

12° La nitrification peut s'effectuer sans difficultés en présence de doses fortes de sels organiques d'ammoniaque, lactate, malate, succinate, tartrate, acétate, formiate (6 à 10 grammes par litre);

13° A la dose de 0 gr. 5 à 1 gramme par litre, le ferment nitrique oxyde à peu près tous les nitrites (K, NA, CA, MG, BA, ZN, PB, MN, CU, etc.);

14° L'action paralysante de l'ammoniaque sur le ferment nitrique se fait surtout sentir sur le microbe « végétal », en gênant sa multiplication, mais elle est peu sensible sur la fonction oxydante du microbe développé;

15° L'action paralysante ainsi observée provient de l'ammoniaque libre et nullement des sels ammoniacaux qui sont sans action.

Les notions qui précèdent nous permettent de donner une théorie de la nitrification dans la nature, différente de celle de Winogradsky et Oméliansky, et dans laquelle les contradictions signalées dans le cours de ce travail sont élucidées.

On peut distinguer deux cas : 1° les milieux qui nitrifient ne contiennent pas d'ammoniaque libre ni de substances capables d'en dégager en quantité notable. C'est généralement le cas des terres. Dans ces conditions, le ferment nitrique n'est pas gêné par les sels ammoniacaux, et la nitrification s'établit d'emblée sous la forme symbiotique. On voit apparaître directement les nitrates et on ne trouve que peu ou pas de nitrites; 2° les milieux qui nitrifient contiennent de l'ammoniaque libre, du carbonate d'ammoniaque, ou des

substances capables de provoquer sa formation. C'est généralement le cas des eaux d'égout et des eaux résiduaires industrielles. Dans ce cas, les expériences qui précèdent ont établi que la multiplication du ferment nitrique, peut se faire en présence de l'ammoniaque, tant que la dose d'ammoniaque n'est pas trop élevée. Cette multiplication est, il est vrai, d'autant plus rapide que la proportion d'ammoniaque est moindre; mais elle ne cesse que quand le taux d'ammoniaque atteint environ 200 milligrammes par litre. En outre, l'ammoniaque n'agit que très faiblement sur la fonction oxydante du microbe quand il est développé, et on peut ajouter, comme nous l'avons vu plus haut, jusqu'à 2 grammes d'ammoniaque par litre sur une fermentation nitrique en marche sans la gêner sensiblement. Il devient alors facile d'expliquer les résultats opposés de la nitrification au laboratoire et dans la nature. Au laboratoire, on ensemence les deux ferments, généralement en petite quantité, dans un milieu contenant une forte proportion d'ammoniaque. Il en résulte que la multiplication du ferment nitrique se fait mal ou même ne se fait pas, et que la phase nitreuse se termine avant que la phase nitrique soit commencée; il n'y a donc pas de symbiose possible. Mais si on ajoute maintenant de l'ammoniaque, même à forte dose, après une première nitrification qui a permis le développement successif des deux organismes, l'action de l'ammoniaque devient insensible, les deux ferments travaillent alors simultanément, et on observe un phénomène absolument analogue au phénomène naturel. Toute l'ammoniaque passe à l'état de nitrates, et il ne se forme que des traces de nitrites. Dans la nature, les conditions sont à peu près les mêmes; nous sommes ordinairement en présence de supports peuplés, comme le sol et les lits bactériens d'épuration, supports en voie de nitrification continue, sur lesquels l'ammoniaque est à peu près sans action et où le phénomène s'effectue par suite toujours sous la forme symbiotique.

Voici donc, dans ce second cas, comment les choses doivent se passer dans la pratique : les milieux qui nitrifient ne contiennent pas en général 200 milligrammes par litre d'ammoniaque, dose qui arrête toute multiplication du ferment nitrique. Cette dose n'est atteinte et dépassée que dans quel-

ques eaux résiduaires impures, comme les eaux d'abattoirs. Le ferment nitrique se multiplie donc dès le début, à côté du ferment nitreux, plus ou moins vite suivant la quantité d'ammoniaque présente. Quand les particules terreuses ou le scories sont bien peuplées, c'est-à-dire quand les deux microbes sont développés, la symbiose s'effectue alors d'une façon absolue. Même si les conditions viennent à changer et si le taux d'ammoniaque s'élève, la marche simultanée des deux ferments ne cesse pas, il faudrait pour l'arrêter atteindre et maintenir des doses d'ammoniaque qu'on ne rencontre jamais dans la pratique.

Il est donc facile de comprendre pourquoi, dans la nature, le ferment nitrique exerce son action en même temps que le ferment nitreux et cela malgré la présence de l'ammoniaque.

Il reste maintenant à élucider une deuxième contradiction. Pourquoi le ferment nitreux, qui est si sensible à la présence des matières organiques, marche-t-il aussi activement dans les lits bactériens d'épuration d'eaux résiduaires en présence de quantités sensibles de ces matières organiques nuisibles? Il est certain que la présence de quantités notables de matières organiques diminue la nitrification dans les lits bactériens et favorise la dénitrification. Pour les quantités faibles des matières organiques, qui sont celles qu'on rencontre ordinairement dans les eaux d'égout, nos expériences en cours nous permettent dès maintenant d'affirmer qu'il existe sur le ferment nitreux une action analogue à celle de l'ammoniaque sur le ferment nitrique et qu'à faible dose ces substances gênent fort peu les microbes quand ils sont bien développés sur les scories et les particules terreuses. Les études que nous poursuivons actuellement nous permettront de trancher bientôt cette question, et de faire connaître en même temps l'action des principales matières organiques qu'on peut rencontrer dans les eaux d'égout sur le travail des microbes nitrificateurs.

CHAPITRE VII

ESSAIS D'ÉPURATION BIOLOGIQUE SUR LITS BACTÉRIENS CONTINUS OU « PERCOLATEURS »

Les lits bactériens *de contact* ou intermittents, tels que nous les avons expérimentés et décrits dans les chapitres qui précèdent, présentent de grands avantages économiques en raison de leur simplicité de construction et de leur durée à peu près indéfinie. Comme ils n'exigent aucun mécanisme, les frais d'entretien sont presque nuls.

Toutefois, leur capacité d'épuration étant le plus souvent limitée à 500 litres par mètre carré de surface et par vingt-quatre heures (avec trois remplissages), et certaines villes éprouvant des difficultés à trouver, dans leur voisinage immédiat, des espaces de terrains suffisants, on a été conduit à réaliser des dispositifs mécaniques permettant d'augmenter les quantités d'eau d'égout épurées sur une même surface, et de supprimer les alternances d'immersion et d'aération.

Plusieurs appareils très ingénieux ont été proposés et expérimentés dans ce but, particulièrement en Angleterre, en ces derniers temps. Certains d'entre eux méritent d'être connus car, malgré leur prix généralement assez élevé, ils sont susceptibles d'un emploi avantageux, surtout dans les villes de peu d'importance, dans les établissements collectifs isolés (hôpitaux, sanatoriums, casernes, collèges) et dans la plupart des industries (sucreries, brasseries, distilleries, amidonneries, tanneries, etc.).

Il importe donc que nous en fassions une brève étude, et que nous exposions les résultats de nos expériences à leur sujet.

Remarquons tout d'abord que la filtration réellement *con-*

tinue sur un même lit bactérien est impossible à réaliser, parce que les scories constamment mouillées d'eau d'égout ne tarderaient pas à perdre le pouvoir de fixer les matières organiques dissoutes. Il est indispensable que l'air puisse pénétrer jusque dans la profondeur de leurs pores, pour que les microbes qui s'y abritent et s'y multiplient soient en mesure d'accomplir leur fonction d'oxydation. On est donc toujours obligé d'interrompre l'arrosage des scories à des intervalles plus ou moins rapprochés pour leur permettre de s'égoutter complètement. C'est pourquoi il n'existe pas, à proprement parler, de lits bactériens *continus*.

Mais on est parvenu à combiner certains dispositifs qui permettent, soit le déversement en pluie des eaux d'égout, pendant des périodes plus ou moins longues, à la surface des lits bactériens, soit l'arrosage intermittent et automatique des diverses portions de la surface d'un même lit. On supprime ainsi l'immersion totale des lits, c'est-à-dire les *contacts*, alternant avec la vidange totale, et on évite la main-d'œuvre que nécessitent l'ouverture et la fermeture des vannes.

Ces dispositifs de lits bactériens *à percolation* peuvent se diviser en cinq groupes, suivant le mode de distribution qu'ils emploient :

1° Les pulvérisateurs à pression;
2° Les tourniquets hydrauliques, ou *Sprinklers*;
3° Les nochères à renversement;
4° L'égouttage direct;
5° Les siphons à décharge intermittente.

1° *Systèmes pulvérisateurs.* — Le principe de ces systèmes consiste à placer sur toute la surface d'un seul lit bactérien, de 2 à 3 mètres d'épaisseur, une série de tuyaux métalliques percés de distance en distance (tous les 1^{m},50 environ), d'un orifice sur lequel est adapté un ajutage pulvérisateur spécial. L'eau d'égout sortant des fosses septiques est amenée à chaque tuyau par une *nourrice* (conduite à large section) dont le diamètre intérieur est calculé de manière à ce que toutes les canalisations secondaires, perpendiculairement branchées sur elle, reçoivent une égale quantité de liquide.

Toute la surface du lit bactérien se trouve ainsi couverte

d'un réseau de becs pulvérisateurs (*fig.* 7) qui projettent l'eau d'égout sous une pression suffisante pour obliger celle-ci à retomber en pluie fine sur les scories. La hauteur de chute doit être d'environ 1 mètre. L'eau traverse toute l'épaisseur du lit sans y séjourner et s'écoule aussitôt par le drai-



Fig. 7. — Becs pulvérisateurs des lits bactériens, à Chesterfield.

nage sous-jacent, tout autour du lit, d'où une rigole collectrice le conduit vers un canal d'évacuation.

Plusieurs types différents de ce système sont actuellement employés en Angleterre. Le meilleur est celui qu'on peut voir fonctionner aux *Sewage's Works de Birmingham*. Il en existe un autre à *Salford* (faubourg de Manchester), et un troisième à *Chesterfield* (*fig.* 8). Dans cette dernière installation, l'eau est propulsée par *intermittences* dans les pulvérisateurs, au moyen d'un éjecteur *Shone* à air comprimé, d'une capacité de 500 litres. Les dispositifs de ce genre sont extrêmement coûteux en raison de la multiplicité des canalisations métalliques

qu'ils nécessitent. De plus, leur fonctionnement n'est possible qu'avec des eaux parfaitement débarrassées de toutes particules de matières en suspension. L'effluent des fosses septiques, avant d'y être admis, doit être soigneusement décanté dans des appareils *Dortmund*, ou au moyen d'un filtre dégrossisseur. Encore est-il difficile d'éviter, malgré ces précautions, que les becs pulvérisateurs s'obstruent, et on est obligé de les surveiller continuellement.

En revanche, grâce au mélange très intime d'une grande quantité d'air à l'eau d'égout, et grâce à la répartition de celle-ci en fines gouttelettes sur toute la surface du lit bactérien, l'oxydation des matières organiques s'effectue d'une manière absolument parfaite. On obtient un effluent dont le coefficient d'épuration peut atteindre 92 et même, dans certains cas, 96 pour 100, avec un débit d'un mètre cube environ par mètre carré de surface et par vingt-quatre heures.

2° *Tourniquets hydrauliques, ou Sprinklers.* — Ces appareils utilisent le principe physique bien connu du tourniquet hydraulique. L'eau à épurer arrive au centre d'un lit bactérien circulaire, dans l'axe d'un distributeur à deux ou quatre bras. Ceux-ci sont constitués par des tuyaux métalliques fermés à leur extrémité libre et percés de trous latéraux de petites dimensions, en nombre de plus en plus grand du centre à la périphérie.

Les figures 9 et 10 en indiquent le fonctionnement. L'eau, en s'échappant par les orifices, tombe en jets minces et obliques sur les scories, et produit la rotation continue du système autour de l'axe central.

Pour éviter l'usure rapide de cet axe et pour assurer son étanchéité, les ingénieurs sanitaires anglais ont imaginé divers mécanismes. C'est ainsi que le Sprinkler de *Candy-Whittaker-Bryant* tourne dans une cuvette pleine de mercure : les frottements sont, par suite, réduits au minimum.

Le Sprinkler *Adams'*, connu sous le nom de « *Cressel* » *distributor*, tourne dans une chambre à air entre deux joints hydrauliques. Celui de *Mather and Platt* est actionné par une turbine axiale que l'eau d'égout elle-même met en mouvement [1].

[1] Beaucoup de villes anglaises emploient des Sprinklers de divers systèmes pour distribuer leurs eaux d'égout sur des lits bactériens : on peut les voir



Fig. 8. — Lit bactérien à becs pulvérisateurs de Chesterfield.

Dans tous ces appareils, les bras du distributeur sont maintenus horizontaux à la surface du lit bactérien, au moyen de guides métalliques ou « haubans » suspendus au sommet d'un prolongement vertical de l'axe. Leur mouvement de rotation est plus ou moins rapide suivant la pression de l'eau.

Malheureusement, les Sprinklers sont quelquefois contrariés par les vents, de sorte que l'eau n'est pas toujours distribuée uniformément sur les diverses portions des lits.

Les résultats de l'épuration fournis par les lits arrosés de cette manière sont, en général, très satisfaisants, et leur débit est considérable; celui-ci dépasse parfois $1^{m^3},200$ par mètre carré et par jour. Les seuls reproches qu'on puisse leur adresser sont d'être coûteux et de nécessiter une surveillance constante pour éviter que les orifices très petits par où l'eau s'écoule viennent à s'obstruer.

M. Candy affirme obtenir des effets d'épuration plus parfaits en intercalant, entre deux couches de scories, dans le lit bactérien à Sprinkler, une couche de 20 à 30 centimètres d'épaisseur de *carboferrite* ou *polarite*, substance poreuse obtenue par la calcination du carbonate de fer naturel [1].

Nos expériences personnelles nous ont convaincu de l'inutilité de cette complication. Déjà après quelques semaines de mise en marche, les pores très fins du carboferrite sont obstrués par les zooglées de microbes, et les effets d'oxydation un peu plus intense qu'on observe au début cessent alors de se produire. Il vaut beaucoup mieux, selon nous, garnir les lits bactériens uniquement avec des scories ou mâchefer, dont le prix est beaucoup moins élevé, et qu'il est facile de se procurer partout.

3° *Gouttières à renversement.* — Le colonel *Ducat*, de Londres, a fait construire pour essais, à Leeds, un filtre qu'il destinait à l'épuration de l'eau d'égout brute, sans passage préalable par fosse septique. Ce filtre, de 45 mètres carrés de surface, avait une hauteur de 3 mètres. Les parois étaient

fonctionner près de Londres, à Uxbridge, à Darley-Abbey, à York, à Chester et dans les Sewage's Works de Birmingham où presque tous les modèles sont essayés comparativement.

[1] Le carboferrite renferme, pour 100 parties, environ 54 de peroxyde de fer et d'oxyde magnétique, 6 d'alumine, 7 de magnésie et 25 de silice.

entièrement formées de tuyaux de drainage de 30 centimètres de longueur et de 12 centimètres de diamètre extérieur. L'in-



Fig. 9. — Lits bactériens à *Sprinklers* d'Adam's.

térieur, rempli de scories, était traversé à différents étages par

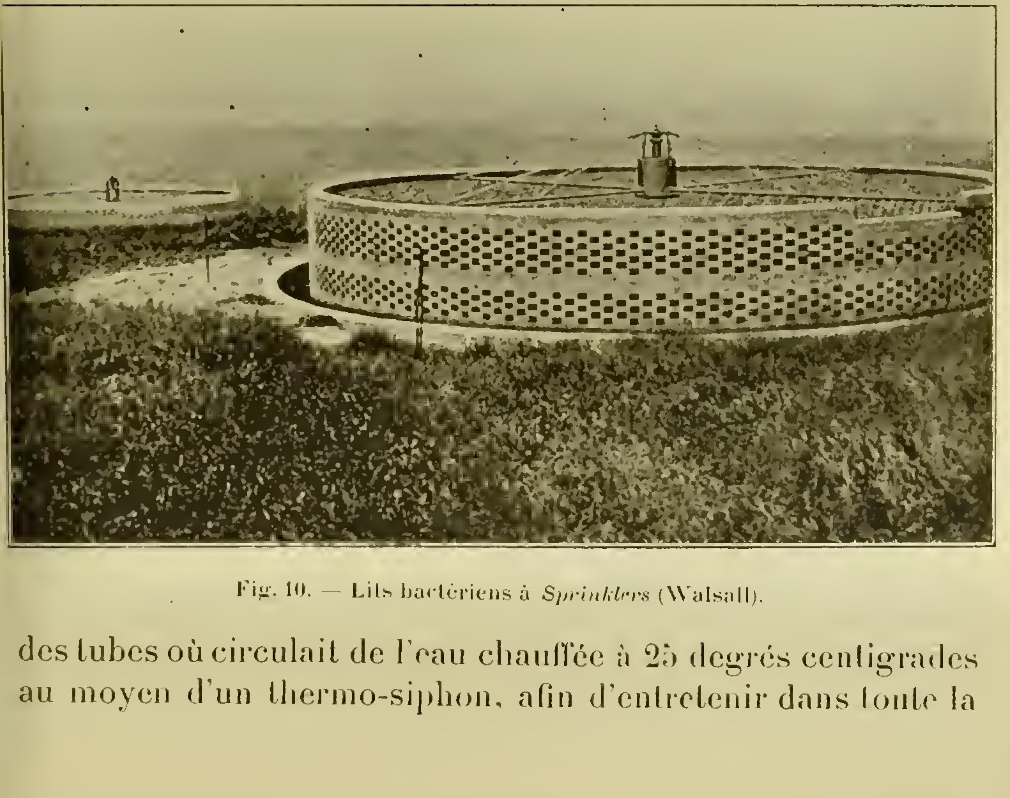


Fig. 10. — Lits bactériens à *Sprinklers* (Walsall).

des tubes où circulait de l'eau chauffée à 25 degrés centigrades au moyen d'un thermo-siphon, afin d'entretenir dans toute la

masse de scories la température la plus favorable à la nitrification.

A la surface, l'eau d'égoût se déversait alternativement sur chacune des sections du lit, au moyen de gouttières à renversement automatique. Les résultats de l'épuration furent satisfaisants au début, avec une marche de dix heures sur vingt-quatre, et un débit de 1200 litres par mètre carré et par jour. Mais, un mois après la mise en service, les scories superficielles commencèrent à se colmater et le fonctionnement dut être interrompu.

Le coût extrêmement élevé de ce système rendait d'ailleurs son emploi impossible.

Tout récemment, d'autres ingénieurs anglais ont adapté le même principe des gouttières à renversement à la construction des distributeurs automatiques en forme de moulins mobiles soit autour d'un axe central, comme les *Sprinklers*, soit sur des surfaces rectangulaires au moyen d'un va-et-vient monté sur rails métalliques.

L'un des meilleurs dispositifs de ce genre est le distributeur *rotatif* de *Fiddian*, qu'on peut voir fonctionner en Angleterre, à Walsall, à Birmingham, à Liverpool, et en France dans notre station expérimentale de la Madeleine-Lille, où nous en avons fait installer un à titre d'essai (*fig.* 11 et 12).

Il se compose d'une roue cylindrique, de 25 à 38 centimètres de diamètre, dont toute la surface porte une série d'augets. Le remplissage successif de ceux-ci détermine un mouvement circulaire d'autant plus rapide que l'eau à épurer arrive en plus grande quantité. L'alimentation des augets s'effectue par des déversoirs formant vases communicants avec un réservoir axial. Les augets se vident successivement à la surface des scories au fur et à mesure que la rotation de l'appareil s'effectue (2 fig.).

L'ensemble du lit bactérien, portant son distributeur rotatif sur rail, a seulement $2^m,20$ de hauteur environ, pour une épaisseur de $1^m,75$ de scories (Voir *Planche I*, *IJ* et *Planche II*, coupe sur IJ).

Il ne doit recevoir que des eaux préalablement débarrassées des matières en suspension, par un séjour convenable en fosse septique. Les effets d'épuration sont aussi parfaits qu'on

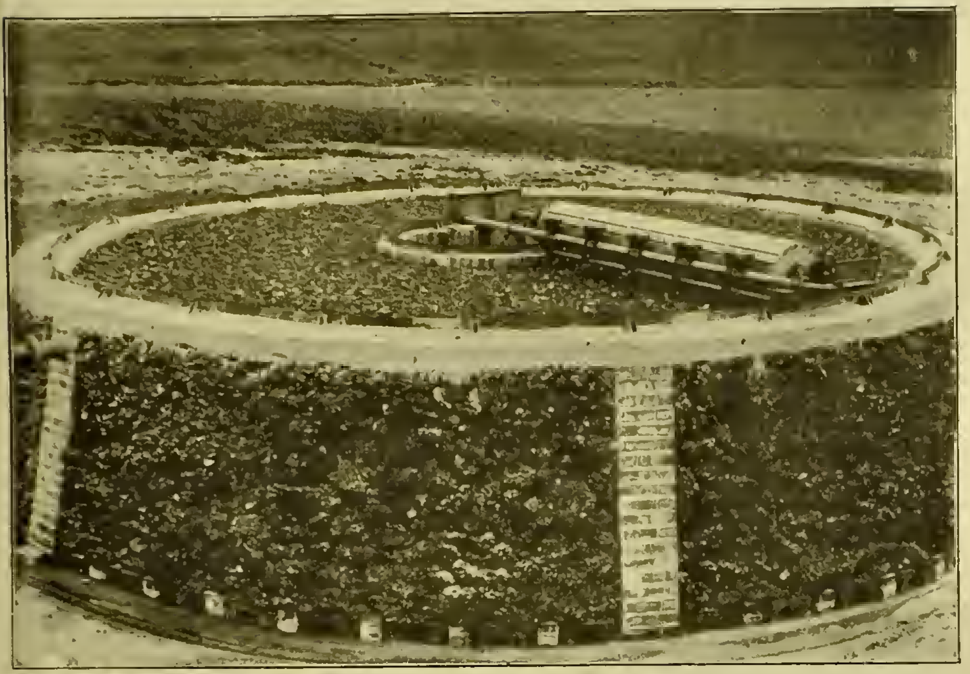


Fig. 11. — Lit bactérien et distributeur automatique *Fiddian*, à Liverpool.

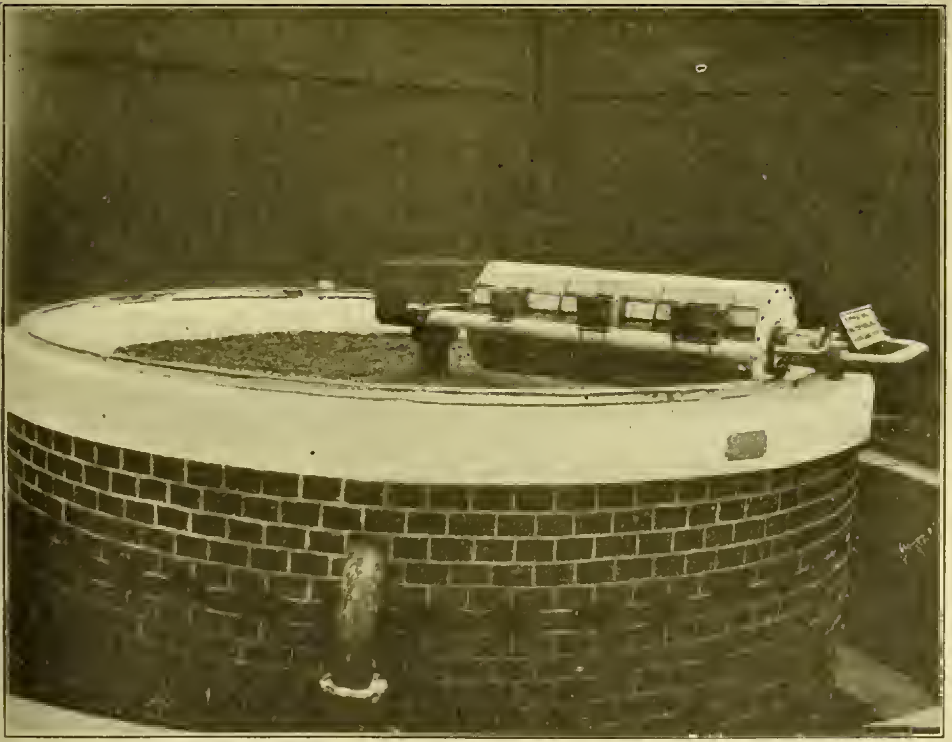


Fig. 12. — Lit bactérien et distributeur automatique *Fiddian* à la station expérimentale de la Madeleine.

peut le désirer : le coefficient varie de 80 à 92 pour 100 avec un débit moyen de 1200 litres par mètre carré de surface et par jour, dans nos expériences de la Madeleine. L'eau épurée se montre toujours absolument claire et imputrescible, et cependant l'appareil marche sans discontinuité jour et nuit depuis trois mois.

Voici les résultats moyens de nos analyses effectuées sur l'effluent du *Fiddian* 8 jours, 15 jours et 1 mois et demi après sa mise en service, le liquide épuré provenant des mêmes fosses septiques que celui de nos lits de contact.

		Après 8 jours.	Après 15 jours.	Après 45 jours.
Matières organiques en solution. . .		335	425	435
Matières minérales en solution . . .		765	755	910
Oxygène absorbé en 3 minutes . . .		1mgr,6	3mgr,6	2mgr,4
— 4 heures. . . .		6mgr,	13mgr,2	7mgr,6
Oxygène absorbé après 5 jours d'incubation à 30°		7mgr,6	2mgr,8	2mgr
Matières organiques dosées au permanganate.	Solution acide . .	18mgr,4	20mgr,4	13mgr,6
	Solution alcaline.	12mgr,0	18mgr,2	10mgr,8
Carbone organique en CO^2.		24mgr	60mgr	34mgr
Ammoniaque libre ou saline.		1mgr,6	3mgr,3	0mgr,4
Azote organique (en ammoniaque). .		3mg ,6	7mgr,9	3mgr,6
Nitrites en Az^2O^3.		1mgr,5	traces	1mgr,4
Nitrates en Az^2O^5		30mgr	25mgr	40mgr

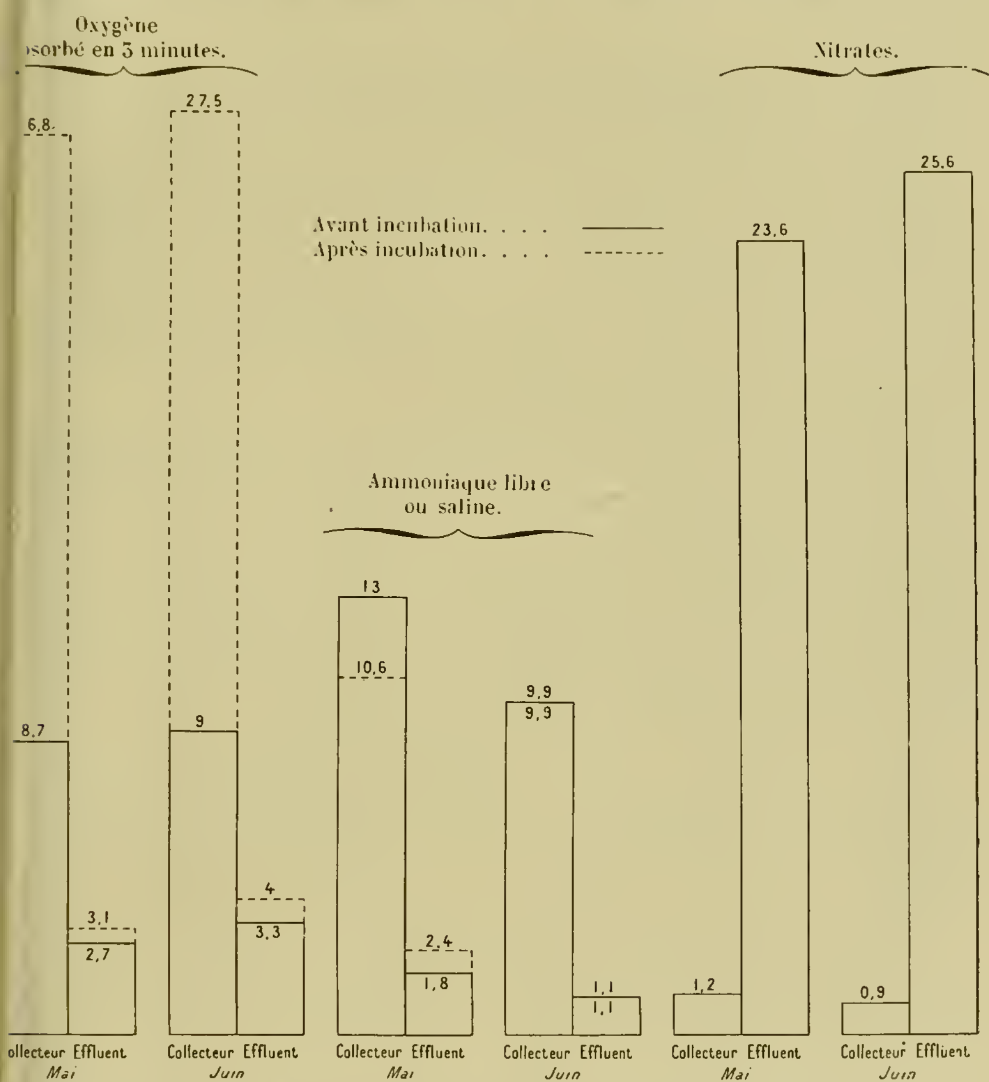
L'ensemble de ces résultats apparaît plus nettement à la lecture du graphique ci-après (*Graph.*, n° 24).

La nitrification s'est donc établie très rapidement et d'une manière très active dans le lit alimenté par le distributeur Fiddian. Au point de vue bactériologique, nous avons constaté également que le nombre des microbes est beaucoup plus faible que dans l'effluent des lits de contact : 1 400 000 germes cultivables en gélatine peptonée, comptés le 5e jour et 400 000 germes liquéfiants.

Cet appareil automatique de distribution, robuste et insensible à l'action des vents, nous paraît donc intéressant à signaler. On en construit de très grandes dimensions qui, au lieu de tourner sur un axe, se meuvent transversalement et d'une manière automatique sur de vastes lits rectangulaires.

Nous pensons toutefois que, si les distributeurs de ce genre peuvent rendre des services dans les installations urbaines de

eu d'importance et surtout dans les casernes, collèges ou hâteaux, les grandes villes auront toujours avantage à éviter es appareils mécaniques susceptibles d'exiger des réparaons fréquentes ou nécessitant des arrêts de fonctionnement.



Graphique n° 24. — *Épuration biologique par lit bactérien à percolation* (distributeur automatique *Fiddian*).

4° *Égouttage direct.* — *M. Stoddart, de Bristol*, a préconisé un mode de distribution par égouttage direct qui consiste à placer sur toute la surface des lits bactériens, et à une faible distance des scories, une sorte de couverture en tôle ou en zinc, creusée de gouttières parallèles dont les arêtes sont percées de petites fenêtres losangiques. De chacune de ces ouver-

tures, plusieurs pointes, dirigées en bas, servent de conducteurs aux gouttelettes liquides. Cette disposition empêche les particules solides entraînées hors de la fosse septique d'obstruer les orifices : elle se déposent au fond des gouttières, d'où on peut les expulser de temps en temps avec une simple brosse.

Malgré sa simplicité, ce système ne s'est pas répandu : il présente l'inconvénient de gêner la libre circulation de l'air à la surface des lits, et on a constaté à diverses reprises que les gouttières sont fréquemment envahies par une abondante végétation de moisissures qui ne tardent pas à intercepter la circulation de l'eau. D'autre part, son prix de revient est trop élevé pour qu'on puisse songer à l'appliquer sur des lits bactériens de grandes dimensions.

5° *Siphons à décharge intermittente.* — La plupart des appareils que nous venons de décrire nous ayant paru difficilement utilisables dans les installations urbaines de quelque importance, soit à cause de leur prix trop élevé, soit en raison de la complexité de leur mécanisme, nous avons dû chercher à combiner un mode de distribution qui pût être employé partout à peu de frais et en supprimant aussi complètement que possible toute dépense d'entretien et de main-d'œuvre.

Nous estimons y être parvenus en adoptant de simples siphons à amorçage lent et à déversement rapide, de manière à réaliser une véritable *percolation intermittente* des lits bactériens.

Notre dispositif consiste à placer soit au centre, soit sur l'un des bords des lits bactériens, de distance en distance, un ou plusieurs siphons semblables à ceux que l'on emploie pour les chasses automatiques des water-closets, mais spécialement construits en vue de réduire au minimum leur hauteur. Celle-ci peut, à la rigueur, ne pas dépasser $0^{m},20$, de telle sorte qu'il n'est pas nécessaire de disposer d'une chute considérable. Une dénivellation de 2 mètres au total, depuis la sortie de la fosse septique jusqu'à l'assise du lit bactérien suffit au besoin.

Nos siphons, alimentés chacun par un déversoir de trop plein d'un canal distributeur, s'amorcent en un temps variable et réglable à volonté, au moyen d'un diaphragme (en 5 à

15 minutes par exemple). Ils évacuent ensuite en 30 ou 50 secondes un volume d'eau déterminé (de 20 litres à 1 mètre cube ou davantage) *directement* dans des rigoles creusées à la surface du lit bactérien ou dans des nochères en poteries perforées de fentes et posées à plat sur celui-ci.

La vague d'eau ainsi évacuée s'infiltre dans la masse des scories sur toute la hauteur du lit bactérien. Elle sort au bout de quelques minutes, débarrassée des matières organiques qui restent fixées sur les scories, et entraînant les nitrates solubles formés. Le lit bactérien auquel on doit donner une épaisseur minima de $1^m,75$, est donc mouillé puis aéré de haut en bas par périodes successives dont on peut déterminer exactement l'intermittence.

Un appareil de ce genre installé pour essai dans notre station expérimentale de la Madeleine sur un lit bactérien de $1^m,50$ d'épaisseur et de 7 mètres carrés de surface, avec un débit de 1 mètre cube par mètre carré et par jour, fonctionne depuis trois mois sans la moindre interruption (planche I, lit *a'* et planche II, coupe sur G H). Il nous a donné des résultats si satisfaisants que nous nous sommes décidés à transformer toute une moitié de notre installation de lits de contact en lits continus alimentés par ce mode de distribution automatique d'une extrême simplicité.

Nous avons adapté le même système à l'épuration d'eaux résiduaires de diverses industries, en particulier à l'épuration des vinasses de distillerie. Un prochain mémoire exposera en détails les recherches que nous poursuivons à ce sujet.

CHAPITRE VIII

EXPÉRIENCES RELATIVES A L'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT PAR LES PROCÉDÉS CHIMIQUES

Par le professeur A. Buisine, *directeur de l'Institut de chimie de la Faculté des sciences de Lille.*

On sait depuis longtemps que, si l'on ajoute en proportion convenable certains réactifs chimiques à de l'eau contaminée, il se forme, par double décomposition entre le réactif et certains sels contenus dans l'eau, un précipité qui d'abord englobe toutes les matières en suspension et, en outre, enlève à l'eau une portion plus ou moins grande des matières organiques qu'elle renferme en dissolution.

Il en résulte que l'eau est ainsi clarifiée et plus ou moins épurée.

De nombreux réactifs ont été proposés dans ce but et des expériences, dont quelques-unes très intéressantes, ont été faites sur des eaux diverses, eaux industrielles ou eaux d'égouts, pour établir leur degré d'efficacité.

Mais, sauf dans quelques cas spéciaux, par exemple pour certaines eaux industrielles, ces procédés n'ont pas reçu d'applications importantes.

Cela tient à plusieurs causes : d'abord l'efficacité de certains réactifs laisse beaucoup à désirer et, par suite, l'eau traitée n'est pas suffisamment débarrassée des matières organiques qu'elle renferme en dissolution pour qu'elle soit rendue imputrescible.

D'autres, il est vrai, sont plus actifs, mais alors, le plus souvent, le prix du réactif est trop élevé. Son emploi porte le prix

de revient de l'épuration au-delà des limites qu'on peut atteindre dans la pratique.

Un autre reproche qu'on fait à ces procédés et qui leur est général, c'est qu'ils fournissent des quantités importantes de résidus boueux dont il est souvent difficile de se débarrasser.

Aujourd'hui les conditions sont un peu changées et plus favorables aux procédés chimiques.

D'abord on a réalisé de grands progrès dans la fabrication de certains réactifs proposés pour l'épuration des eaux et l'industrie les fournit à des prix très abordables.

Tels sont, par exemple, les sels ferriques, le chlorure de chaux, le permanganate de chaux, pour ne citer que les plus efficaces.

De plus on a créé pour l'application de ces procédés des appareils bien compris, faciles à régler, d'un fonctionnement aussi simple que possible et pouvant se prêter au traitement de grands volumes d'eau.

Enfin, on a maintenant des appareils pratiques pour l'essorage et le séchage des boues qui, suivant leur composition, peuvent être utilisées comme combustible ou en agriculture.

D'autre part, on a proposé, surtout pour compléter l'épuration de l'eau préalablement traitée par le réactif chimique, l'emploi de certaines matières solides telles que les oxydes de fer, la polarite, etc., qui agissent par leurs propriétés plus ou moins comburantes sur les matières organiques restant dans l'eau.

Ajoutons que, dans certaines installations récentes, on a cherché à combiner les procédés chimiques aux procédés biologiques.

Afin d'étudier dans son ensemble le problème de l'épuration des eaux résiduaires, M. le docteur Calmette a eu l'idée d'installer à côté des systèmes biologiques, qu'il expérimente sur les eaux de la Madeleine, les procédés basés sur l'emploi des réactifs chimiques.

Il nous offrit de nous charger de l'installation des appareils et de la direction des essais.

Cette proposition nous a séduit et nous l'avons acceptée avec le plus grand plaisir.

On n'est pas, à notre avis, exactement fixé sur la valeur des procédés chimiques dont quelques-uns sont extrêmement efficaces et méritent d'être plus connus.

D'ailleurs, dans certains cas, l'épuration chimique s'impose.

Il est des eaux résiduaires qu'on ne peut épurer que par les procédés chimiques.

D'autre part, les procédés chimiques peuvent quelquefois avantageusement précéder les procédés biologiques.

Le programme que nous avons dressé pour ces expériences comprend :

1° l'essai des divers réactifs qui ont été proposés au point de vue de l'efficacité, du prix de revient, de la facilité d'emploi, etc.

2° L'essai ultérieur de la filtration simple ou des matières filtrantes ayant une action chimique.

3° L'essai des procédés chimico-bactériens.

Ce programme est vaste.

Il nécessite avant tout un appareil disposé de façon à permettre l'emploi des différents réactifs seuls ou combinés et dont les différentes parties soient isolées afin de pouvoir suivre et étudier les phases successives de l'opération, l'agitation du mélange, la décantation, la filtration, etc.

C'est ce que nous avons essayé de réaliser.

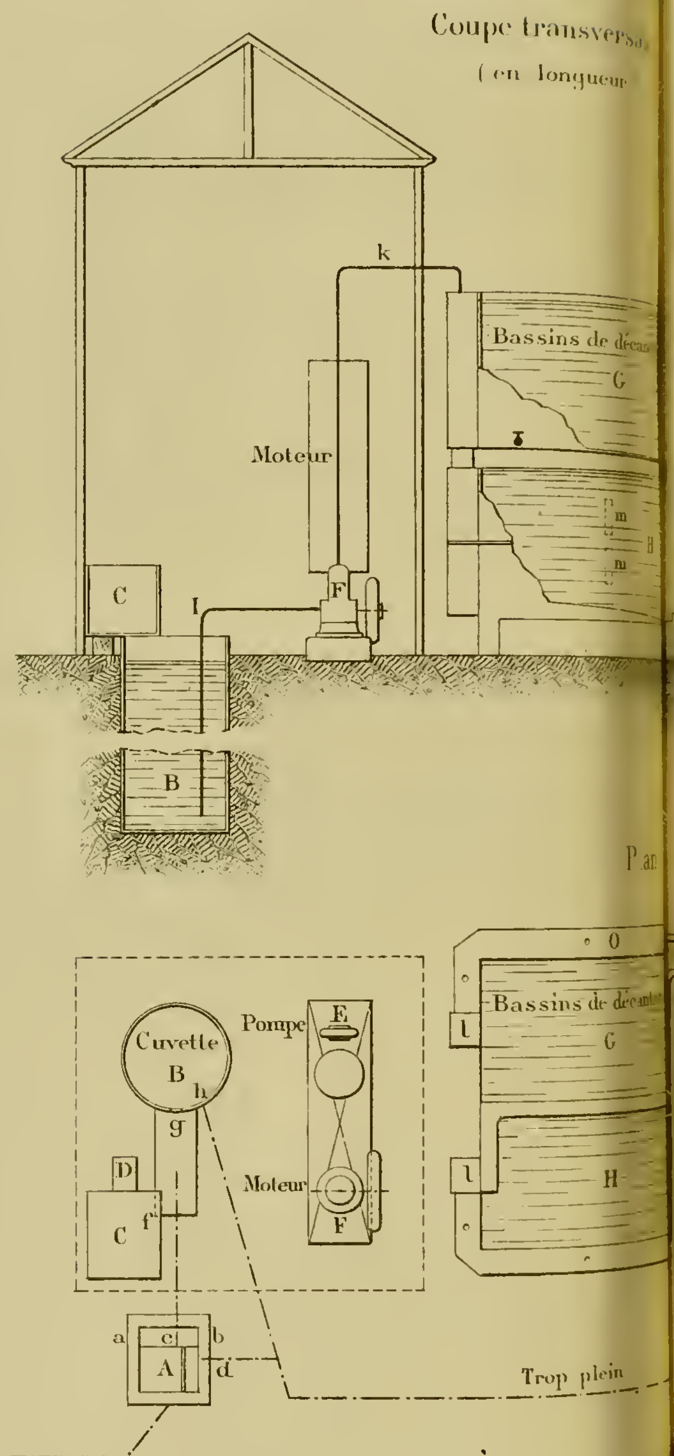
DESCRIPTION DE L'APPAREIL

Pour répondre à ces desiderata, nous avons étudié la disposition à donner à chaque partie de l'appareil, puis nous avons dressé un plan d'ensemble de l'installation (fig. 13).

Ce plan a été exécuté par M. Vermont, entrepreneur pour la partie en maçonnerie et en ciment armé et par M. Degoix, ingénieur-constructeur pour la partie mécanique.

M. Calmette mit à notre disposition pour cette installation une portion du terrain qu'il avait loué pour ses essais, de 20 mètres de longueur sur 6 mètres de largeur, soit 120 mètres carrés, située à la partie la plus élevée du terrain.

Comme il était nécessaire d'abriter une partie des appareils : le réservoir, le distributeur de réactifs, le moteur, la



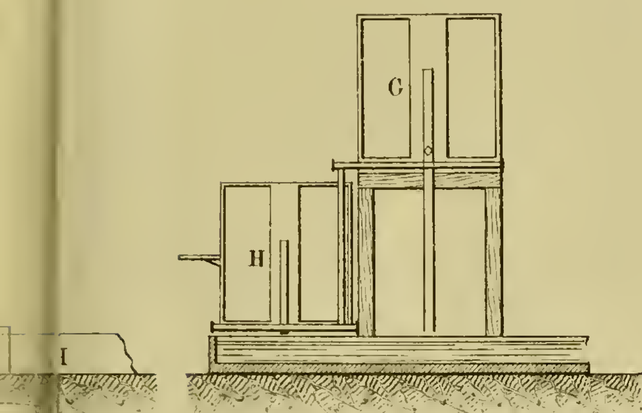
STATION EXPÉRIMENTAL

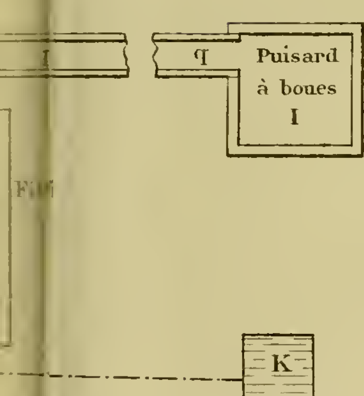
Dispositif d'apparei
des

E. Morieu. Gr.

MASSON

Coupe transversale des bassins
de décantation (en largeur)





DEΣINE-LEZ-LILLE.

...on chimique

...ts

...ES.

pompe, etc., on construisit à cet effet un petit bâtiment en planches de 4 mètres sur 4 mètres. Le reste, les bassins de décantation, le filtre, la fosse à boue, etc., est disposé à la suite en plein air.

Nous n'avons pas employé tout le terrain mis à notre disposition; il reste disponible une portion de 8 mètres sur 4 mètres, soit 32 mètres de surface réservée pour l'installation d'un lit bactérien, dans le cas où l'on désirerait étudier l'épuration chimico-bactérienne de l'eau.

Étant donnée la disposition du terrain, nous n'avons pas pu faire circuler l'eau dans la série des appareils par simple gravitation, ce qui avait pu heureusement être réalisé par M. Calmette dans son installation.

Le terrain dont nous disposons étant horizontal, il a fallu faire usage d'un appareil élévatoire pour assurer cette élévation.

C'est une complication coûteuse, mais qui s'impose dans la majeure partie des cas. Dans notre prix de revient, nous ne tiendrons pas compte de la dépense occasionnée par l'installation de ces appareils et leur fonctionnement; cette dépense, quand elle est rendue nécessaire par la disposition du terrain, étant la même dans tous les systèmes.

Nous prenons l'eau telle qu'elle arrive de l'égout de la Madeleine.

Les appareils ont été calculés pour le traitement de 10 mc^3 d'eau environ à l'heure.

Une canalisation spéciale, souterraine, commandée par une vanne à l'origine, prend l'eau à l'endroit même où se trouve la prise qui alimente les fosses septiques de M. Calmette et l'amène à nos appareils.

Cette canalisation débouche dans un premier puisard A destiné à arrêter les corps étrangers plus ou moins volumineux en suspension dans l'eau et qui pourraient empêcher le fonctionnement de la pompe.

Pour cela, une cloison *ab* formée d'une grille suivie d'une toile métallique, partage le puisard en deux portions et retient les corps en question.

L'eau sort du puisard par une ouverture circulaire, pratiquée dans une tôle pleine, calculée de façon à correspondre

aussi exactement que possible au débit de la pompe, pour la hauteur normale de l'eau dans le puisard (10 *mc*³ à l'heure).

Ce puisard porte d'ailleurs un trop plein *d* qui assure l'élimination de l'eau en excès quand la pression est supérieure à la moyenne.

Un petit tronçon de canalisation souterraine *ef* amène ainsi l'eau sous un débit connu et constant dans un caniveau *fg* cimenté, à ciel ouvert, de 25 centimètres de haut sur 25 centimètres de large, placé dans le bâtiment en planches, sous les appareils distributeurs de réactif et aboutit à un nouveau puisard B où elle se déverse.

Dans le cours de son trajet dans le caniveau, l'eau reçoit, en quantité calculée, la solution du réactif qu'on doit y ajouter pour l'épurer.

Appareil de distribution du réactif.

Le distributeur de réactif doit fournir un débit constant de liquide épurateur.

Ce débit est réglé sur le volume de l'eau qui passe dans un temps donné et sur son degré de contamination.

Ce dernier facteur est très variable. Il faut donc pouvoir modifier ce débit suivant les besoins et le changement doit pouvoir être fait rapidement et facilement; en outre cet appareil doit être très sensible.

Nous avons abandonné l'idée des déversoirs comme moyen de mesure et de réglage. Pour des installations importantes, c'est un excellent procédé, mais pour de petits débits, comme ceux de nos appareils, ce système n'est pas commode et manque de précision. Dans ces conditions, nous avons préféré le robinet à cadran.

Le système de distribution comprend d'abord un réservoir C pour le réactif. Ce réservoir est une caisse en bois doublée de plomb, de 1 *mc*³ environ de capacité.

A la partie inférieure se trouve une ouverture à laquelle est adaptée un robinet actionné par un levier commandé lui-même par un flotteur.

Le liquide amené par ce robinet tombe dans un second

bac D en bois doublé de plomb, de 50 centimètres de longueur sur 50 centimètres de largeur et 40 centimètres de profondeur.

Le flotteur, qui est une petite pièce de bois pleine, s'élève à mesure que le niveau du liquide monte dans ce bac et, quand il a atteint une certaine hauteur, le levier relié au flotteur prend une position qui ferme le robinet d'alimentation.

Le niveau du liquide dans le bac D sera donc fixe, ce qui est indispensable pour assurer un débit constant au robinet d'écoulement. A la partie inférieure de ce bac se trouve en effet une ouverture à laquelle est fixée un tube en plomb terminé par un robinet à cadran, dont l'ouverture est placée au-dessus du caniveau *fg*.

Le réactif tombe ainsi directement en quantité constante dans l'eau à épurer qui coule en quantité également constante dans le caniveau.

Pour faciliter le mélange, le bec du robinet s'engage dans un tube en plomb qui se termine par une pièce très aplatie en forme d'éventail, de sorte que le réactif tombe en nappe mince sur toute la largeur du caniveau.

En outre, on peut placer dans le caniveau un ou plusieurs petits moulinets en bois, dont l'axe repose sur de petites ouvertures pratiquées dans les parois verticales; ceux-ci, en tournant sous l'influence du courant, assurent un mélange plus intime du réactif et de l'eau.

Le réglage du débit est des plus simples : le robinet porte un cadran horizontal gradué; à la clef est fixée une aiguille qui prend sur le cadran des positions variables avec le débit. Ces positions ont été une fois pour toutes repérées expérimentalement et les indications de l'aiguille donnent le débit en litres, à la minute par exemple.

Étant donnée la nature des liquides plus ou moins corrosifs que l'appareil débite, la robinetterie est en plomb antimonié, qui résiste bien.

Moteur et pompe.

L'eau épurée, additionnée de réactif, arrive donc dans le puisard B.

C'est une cuve cylindrique en ciment de $1^m,15$ de diamètre sur $1^m,70$ de profondeur au-dessous de l'arrivée de l'eau.

Elle porte d'ailleurs un trop plein *h* qui permet au cas d'un afflux d'eau imprévu, supérieur au débit de la pompe, d'éliminer l'excès et d'éviter les accidents qui en résulteraient.

De ce puisard, le mélange est refoulé dans les bassins de décantation.

Pour cela, il faut une pompe et un moteur pour l'actionner.

La canalisation du gaz ne passant pas à proximité de l'usine, nous avons dû nous contenter d'un moteur à essence de pétrole F.

Au moyen d'une courroie, celui-ci actionne une petite pompe centrifuge E, dont le tube d'aspiration I plonge jusqu'au fond du puisard, et le tube de refoulement *k* débouche dans le bassin supérieur de décantation.

Le débit de la pompe a été déterminé expérimentalement une fois pour toutes.

Le moteur marchant à raison de 240 tours à la minute (sa vitesse moyenne), la pompe débite 10 mc^3 à l'heure.

Le tube de refoulement de la pompe porte une dérivation munie d'un robinet, permettant de faire revenir dans le puisard tout ou partie du liquide qui a passé par la pompe. Cette addition a été faite en vue d'étudier l'effet de l'agitation sur le liquide chargé du précipité formé par le réactif. De cette façon, en effet, on peut faire repasser plusieurs fois le liquide dans la pompe et suivre l'action de l'agitation violente qu'elle lui imprime sur la forme du précipité, observation qui a son importance au point de vue de la décantation.

Décantation.

Les deux bassins de décantation, dans lesquels est ainsi amené le liquide, sont disposés côte à côte, l'un étant plus

élevé que l'autre, de façon que le contenu du bassin supérieur G puisse se déverser directement dans l'autre H.

Ces deux bassins ont été construits en ciment armé. Ils sont de même dimension : 4 mètres de longueur sur 2 mètres de largeur et 1m,50 de profondeur; leur contenance est donc de 12 mc^3 environ.

Le fond est légèrement incliné vers une vanne placée à la partie inférieure d'une des petites parois verticales n. Sur l'une des grandes parois verticales de chaque bassin, dans le sens de la hauteur, on a encastré des glaces, grâce auxquelles on peut suivre le dépôt du précipité.

Une galerie latérale, également en ciment armé O, fixée à mi-hauteur des bassins, permet de circuler autour de ceux-ci.

L'eau refoulée par la pompe n'entre pas directement dans le bassin; elle arrive dans une cheminée I, latérale à une petite paroi verticale, au fond du bassin sans produire d'agitation.

Les deux bassins de décantation peuvent fonctionner ensemble ou isolément, selon les besoins, d'une façon continue ou intermittente.

Dans le premier cas, quand le bassin supérieur est plein, le liquide excédant s'écoule par un déversoir p ménagé sur une petite paroi verticale un peu moins élevée que les autres. Le liquide glisse sur la paroi inclinée p et tombe dans une rigole en zinc qui le conduit à l'entrée de la cheminée du deuxième bassin.

Celui-ci se remplit peu à peu à son tour et son trop plein se déverse de la même façon.

Il peut être rejeté directement par le canal de l'eau épurée ou conduit d'abord au filtre dont nous parlerons plus loin.

Quand un bassin fonctionne isolément et d'une façon intermittente, on décante l'eau claire par un tube de décantation muni d'un flotteur dont l'extrémité débouche à la partie inférieure du bassin et amène l'eau à la conduite d'évacuation de l'eau épurée.

Enfin, une vanne de fond n permet d'évacuer les dépôts qui se sont accumulés à la partie inférieure des bassins; un canal spécial q conduit ces dépôts dans une fosse à boue I, d'où on peut les reprendre pour les utiliser. Dans le cas où l'on vou-

drait expérimenter un nouveau réactif sur l'eau décantée du bassin supérieur, une petite plate-forme a été ménagée pour placer un distributeur de réactif déversant son contenu dans la cheminée d'alimentation du bassin inférieur où arrive l'eau en question.

L'eau épurée se déverse dans un premier puisard à air libre J, puis elle est menée par une conduite souterraine dans un petit bassin K, creusé dans le sol et cimenté, qui se remplit d'eau ; l'excès est éliminé par un trop plein dans la conduite d'évacuation. C'est là qu'on voit, sous une certaine épaisseur, l'aspect de l'eau résultant du traitement chimique et qu'on vient prélever les échantillons destinés à l'analyse.

Ainsi disposés, les bassins de décantation permettent de faire tous les essais désirables et toutes les déterminations nécessaires sur la décantation.

Filtre.

Comme complément de la décantation, il est quelquefois nécessaire de faire passer l'eau sur un filtre grossier qui la rend beaucoup plus limpide en retenant des traces d'un précipité très léger qui est resté en suspension, et qu'il est difficile de séparer autrement.

De plus, il entre dans notre programme, ainsi qu'on l'a vu plus haut, d'étudier l'effet, sur l'eau préalablement traitée par les réactifs chimiques, de certaines matières que l'on peut employer pour garnir ces filtres; ce sont celles qui ont une action chimique, sur les produits contenus en dissolution dans l'eau. Dans ce but, immédiatement à la suite des bassins de décantation, nous avons placé une cuve en maçonnerie cimentée L de 5 mètres de longueur sur 60 centimètres de largeur et 70 centimètres de profondeur.

Pour la simple filtration de l'eau épurée, que nous avons seule étudiée jusqu'à présent, la cuve en question a été remplie de scories dont la dimension va progressivement en diminuant, depuis le fond jusqu'à la surface. L'eau venant des bassins de décantation et déversée uniformément par une conduite en zinc sur ces scories, traverse le tas et s'écoule par

une tubulure placée à la partie inférieure qui est branchée sur la conduite d'évacuation de l'eau épurée.

Comme nous l'avons dit plus haut, il reste une portion de terrain libre. Nous l'avons réservée en vue d'y installer un lit bactérien pour les expériences d'épuration chimico-bactériennes.

Telle est, dans son ensemble, l'installation que nous avons aménagée en vue de nos expériences.

Ainsi disposé, l'appareil nous permet de faire tous les essais et toutes les combinaisons désirables : varier la nature du précipité, employer en même temps ou successivement plusieurs réactifs, voir l'influence de l'agitation sur la forme et la densité du précipité, déterminer le temps que met le précipité à se déposer, étudier les différents systèmes de décantations continue ou intermittente, voir l'effet du filtre garni de différentes façons sur la limpidité et la pureté de l'eau, enfin recueillir les boues d'épuration, en déterminer la quantité et la composition.

Ce sont autant de données nécessaires pour établir le projet d'une installation définitive.

Les différents éléments de l'appareil étant isolés, on peut suivre exactement ce qui se passe dans chacun d'eux et l'effet qu'il produit. C'est essentiellement un appareil d'expériences.

Dans une installation définitive, pour une eau déterminée, avec un réactif déterminé, il pourrait être simplifié.

Un des avantages que nous croyons devoir faire ressortir dès maintenant, c'est la surface très restreinte de terrain nécessaire pour l'installation des appareils d'épuration chimique.

Ainsi notre petite installation, qui n'occupe même pas 120 *mq* de surface, permettrait d'épurer 10 mc^3 à l'heure, c'est-à-dire 240 mc^3 en vingt-quatre heures et il est bon d'ajouter que pour une installation définitive les appareils pourraient être encore condensés.

Mise en marche et fonctionnement de l'appareil.

Le réactif à expérimenter ayant été choisi, il faut commencer par l'amener en dissolution, s'il s'agit d'un produit solide.

Cette opération est toujours très facile et peut se faire directement dans le réservoir de l'appareil, où on introduit le produit à dissoudre avec la quantité d'eau nécessaire pour obtenir la dissolution au degré convenable. Tous ces réactifs se dissolvent d'ailleurs facilement dans l'eau froide.

Dans le cas où l'on a affaire à un produit liquide, il suffit de le diluer avec de l'eau ordinaire au degré convenable.

Détermination de la quantité de réactif à employer.

Avant de mettre l'appareil en marche, il faut commencer par déterminer la quantité de réactif qu'il convient d'ajouter à l'eau pour obtenir une bonne épuration.

C'est encore une opération très simple.

Pour cela on remplit une burette graduée avec la solution de réactif que l'on vient de préparer. D'autre part on prélève des échantillons d'eau dans des flacons de 1 litre; on verse ensuite de la burette successivement dans chaque flacon un certain nombre de centimètres cubes de réactif: 6, 7 et 8 cent. cube par exemple.

On agite vigoureusement le flacon et on l'abandonne à lui-même. On observe la formation d'un précipité plus ou moins abondant, d'abord très ténu, qu'on voit grossir à vue d'œil.

S'il y a insuffisance de réactif, il se dépose mal et l'eau reste louche.

Au contraire, si le réactif est en quantité suffisante ou en excès, le précipité se rassemble rapidement et on observe à la surface une couche d'eau claire qui va en s'épaississant.

On jette sur un filtre; la filtration se fait très vite et l'eau est tout à fait limpide si le réactif a été ajouté en quantité suffisante.

Mais il peut avoir été introduit en excès; on met en évi-
ence cet excès par l'emploi d'un réactif approprié.

On a souvent dans un premier essai : d'une part, une quan-
té trop forte; d'autre part, une quantité trop faible de
éactif. Un nouvel essai, dans lequel on prend des quantités
ntermédiaires de réactif permet d'établir le nombre exact.

On a ainsi en quelques minutes le nombre de centimètres
ubes de réactif qu'il faut ajouter à 1 litre d'eau pour avoir
ne bonne épuration.

Ces essais doivent être d'ailleurs répétés de temps en temps
endant le fonctionnement de l'appareil, car la composition
le l'eau est souvent très variable et il faut en conséquence
nodifier le débit du réactif.

La quantité de réactif qu'il faut ajouter à 1 litre d'eau étant
onnue, on règle le débit du robinet. Supposons, par exemple,
ue l'essai précédent ait indiqué : 8 cm^3 de réactif pour 1 litre
l'eau; cela fait 8 litres par mètre cube et 80 litres pour
0 mètres cubes, c'est-à-dire par heure, puisque le débit de la
ompe est de 10 mc^3 à l'heure.

Il faudrait donc ouvrir le robinet de façon à lui faire débiter
0 litres à l'heure, soit 1 litre 333 centimètres cubes par
ninute.

On fait arriver le liquide du réservoir dans le bac à niveau
onstant qui alimente le robinet du distributeur et on ouvre
celui-ci, de façon à ce que l'aiguille marque sur le cadran le
débit en question.

Le cadran porte, en effet, l'indication des différents débits
qui ont été déterminés expérimentalement.

Ceci fait, on peut mettre l'appareil en marche.

Mise en marche.

On ouvre la vanne d'arrivée de l'eau et on commence à rem-
plir le puisard B. On ferme la vanne et on ajoute dans le pui-
sard, au moyen d'un seau, la quantité de réactif qui corres-
pond au volume d'eau qu'il contient.

On met le moteur et la pompe en marche, et d'abord on fait
retourner l'eau au puisard, de façon à agiter le mélange.

Quand l'agitation est suffisante, on ferme le robinet de retour au puisard et on lance l'eau dans le bassin supérieur de décantation.

Peu après, on ouvre la vanne d'eau et le robinet du réactif.

Il coule alors dans le caniveau 10 mc^3 à l'heure et 80 litres de réactif. Le mélange tombe dans le puisard et de là s'en va dans les bassins. L'appareil est ainsi en fonctionnement régulier.

Il suffit de s'assurer de temps en temps que les débits n'ont pas varié et de voir si le réactif agit bien.

En outre, il est indispensable d'essayer au moins toutes les heures l'eau qui arrive et, s'il y a lieu, de modifier le débit en conséquence.

Ainsi réglé, l'appareil ne demande pas d'autre surveillance.

Le bassin de décantation se remplit peu à peu et on suit sur la glace le dépôt du précipité.

Le premier bassin étant plein, l'excédent se déverse dans le bassin inférieur qui se remplit à son tour.

Alors l'eau épurée sort de l'appareil en passant préalablement, si on le désire, par le filtre, et elle est ensuite évacuée.

Si l'eau obtenue, à sa sortie du dernier bassin, n'était pas suffisamment décantée, il suffirait de ralentir le débit pour laisser plus longtemps le liquide dans les bassins.

Pour cela, sans rien changer au moteur et à la pompe, on fait retourner une partie du liquide qui a passé par la pompe dans le puisard en ouvrant convenablement le robinét de retour.

Après quelque temps de fonctionnement, le précipité formé dans l'eau s'est accumulé dans les bassins de décantation sous forme de boue. On procède alors à la vidange, ce qui nécessite une heure au plus. On arrête la pompe et on vide l'eau claire des bassins par le tuyau de décantation à flotteur. Quand le flotteur est arrivé au niveau de la boue on ferme le robinet de décantation et on ouvre la vanne de fond.

La boue se déverse dans le petit canal qui la conduit à la fosse où elle est recueillie.

Prélèvement des échantillons.

Pour se rendre compte du degré d'épuration obtenu, on a fait, pour chaque réactif essayé, une série d'analyses portant sur l'eau brute et sur l'eau épurée prise à sa sortie de l'appareil. Pour cela, l'appareil étant en marche et parfaitement réglé, on prend toutes les demi-heures 1 litre d'eau brute et, deux heures après environ, c'est-à-dire à la sortie du deuxième bassin, un échantillon d'un litre également toutes les demi-heures.

On a ainsi des échantillons d'eau brute et d'eau épurée qui se correspondent aussi exactement que possible.

Ceci posé, nous allons donner les résultats des essais qui ont été faits jusqu'à ce jour.

A. — Épuration par le sulfate ferrique.

Nous avons commencé nos essais par le sulfate ferrique parce que ce produit est un de ceux qu'on peut obtenir à meilleur compte et dont l'efficacité est aujourd'hui parfaitement établie.

A la suite de progrès qui ont été réalisés dans sa fabrication, on est arrivé à le produire très économiquement par l'action, de l'acide sulfurique sur la cendre de pyrite. D'autre part, de nombreuses expériences, dont quelques-unes très importantes, ont été faites avec ce sel et ont mis en évidence son action épurante sur les eaux contaminées, et ses propriétés désinfectantes.

C'est, en un mot, un des réactifs avec lesquel on peut espérer obtenir à tous les points de vue les meilleurs résultats.

On le livre le plus souvent à l'état solide, sous forme d'une poudre grisâtre dont le prix est d'environ 4 francs les 100 kilos pour de grandes quantités.

La dissolution dans l'eau se fait très facilement. Néanmoins pour éviter cette opération, nous avons demandé aux Établissements Kuhlmann de nous le livrer en solution.

Ils nous ont fourni un liquide marquant 41° B., renfermant :

Sulfate ferrique $(SO^4)^3 Fe^2$	66,00 %
Acide sulfurique libre $SO^4 H^2$	0,75 %

Cette solution est beaucoup trop concentrée pour être employée directement dans nos appareils. Il faut l'étendre au 10me environ avec de l'eau ordinaire.

La détermination de la quantité de réactif à ajouter à l'eau nous a donné des nombres assez variables suivant les jours, l'heure de la journée, etc.

Dans le cours de nos expériences il a fallu de 3 à 5 centimètres cubes de réactif par litre d'eau, c'est-à-dire en moyenne 4 centimètres cubes environ, ce qui correspond à 250 grammes de sulfate ferrique solide par mètre cube, représentant une valeur de 1 centime environ.

L'eau de la Madeleine est d'ailleurs l'eau d'égout la plus chargée que nous ayions rencontrée.

Généralement pour ces eaux, celle de la ville de Paris, ou celle de la ville de Lille par exemple, la quantité de sulfate ferrique à employer ne dépasse pas 100 grammes de réactif par mètre cube.

L'addition d'une solution de sulfate ferrique à l'eau d'égout provoque certaines réactions qui peuvent se résumer ainsi :

D'abord le sulfate ferrique est décomposé par les sels alcalins et alcalino-terreux que l'eau renferme toujours. L'eau des égouts de la Madeleine est d'ailleurs souvent très alcaline. L'oxyde ferrique, ainsi précipité, entraîne avec lui la totalité des matières en suspension, les matières albuminoïdes avec lesquelles l'oxyde ferrique forme une combinaison, les matières colorantes avec lesquelles il forme des laques, les matières grasses provenant des savons qu'il décompose, les principes odorants et en particulier les sulfures qu'il fixe à l'état de sulfure de fer insoluble.

L'agent épurant, l'oxyde ferrique précipité, qui est gélatineux, forme avec les matières organiques azotées une sorte de laque qui entraîne les particules les plus ténues ; il en résulte, en un mot, un véritable collage du liquide.

L'eau brute chargée de matières en suspension, plus ou moins colorée, et possédant cette odeur spéciale des eaux

d'égout, lorsqu'elle a subi ce traitement, est parfaitement clarifiée, limpide; elle est en outre complètement désinfectée, décolorée, et rendue imputrescible.

Nous avons fait avec ce réactif de nombreux essais dans différentes conditions de façon à étudier, comme nous l'avons dit plus haut, l'action de quantités variables de réactif sur le degré d'épuration, l'influence de l'agitation plus ou moins prolongée sur la forme du précipité et sur la rapidité de la décantation, le meilleur mode de décantation et la filtration ultérieure.

Nous sommes maintenant fixés sur tous ces points et sur le meilleur mode d'emploi du réactif.

Le réactif étant ajouté à l'eau, on voit, à la suite d'une légère agitation du liquide, le précipité se former, s'agglutiner, grossir de plus en plus, se déposer, gagner le fond du flacon et se tasser. Quand les proportions de réactif sont convenables, après quelques minutes de repos, on a déjà une couche d'eau claire à la surface.

Deux heures de dépôt dans les bassins de décantation suffisent pour qu'on puisse décanter régulièrement la partie supérieure qui est tout à fait limpide.

Le volume des bassins de décantation, qui est de 12 mètres cubes pour chacun, est donc suffisant pour les opérations avec le sulfate ferrique.

Chacun d'eux mettant plus d'une heure à se remplir, lorsque l'eau se déverse à la partie supérieure du second bassin elle a séjourné plus de deux heures dans les bassins et elle est tout à fait limpide.

L'appareil étant mis en marche, deux heures après environ, le second bassin donne de l'eau épurée et on peut continuer sans interruption.

Le passage de l'eau épurée sur le filtre en scorie est presque inutile, il n'ajoute pas grand'chose à la limpidité de l'eau.

Tels sont les résultats que nous avons obtenus avec le sulfate ferrique sur les eaux d'égout de la Madeleine.

Ces observations ont été complétées par l'analyse chimique de l'eau épurée comparativement à l'eau brute.

Chaque essai a été suivi d'une analyse complète de l'eau ou portait seulement sur certains points spéciaux. Nous ne

chargerons pas ce rapport de toutes ces analyses, dont la plupart n'ont qu'un intérêt relatif.

Pour nous, il en est tout autrement, elles nous ont servi à établir les meilleures conditions de fonctionnement de l'appareil et nous ont permis de régler sa marche pour obtenir le maximum d'épuration et de limpidité de l'eau.

Nous ne donnerons donc que quelques analyses faites sur des eaux obtenues avec l'appareil en marche tout à fait normale.

En voici deux par exemple prises à des époques différentes et se rapportant à deux eaux brutes de composition assez différente.

	Eau brute filtrée du 28 mars 1905 — par litre.	Eau épurée par le sulfate ferrique. — par litre.	Eau brute filtrée du 25 mai 1905 — par litre.	Eau épurée par le sulfate ferrique. — par litre.
Résidu sec à 180°.	1gr,280	1gr,630	1gr,530	1gr,680
Matières minérales. . . .	0gr,870	1gr,250	1gr,006	1gr,402
Perte au rouge.	0gr,410	0gr,380	0gr,524	0gr,278
Matières organiques en O.	42mllg,25	18mllg,7	22mllg,5	11mllg,5
Ammoniaque.	17mllg,5	15mllg,	8mllg	6mllg,5
Azote du résidu sec . . .	19mllg	6mllg	12mllg	5mllg

Ces résultats montrent que, outre la clarification complète de l'eau, le sulfate ferrique a une action épurante sensible sur les matières en dissolution.

Les matières organiques solubles sont enlevées dans la proportion de 50 pour 100 au moins et ce sont surtout les matières azotées, c'est-à-dire les plus facilement putrescibles; qui sont éliminées.

L'azote du résidu sec, en effet, diminue dans une forte proportion : des deux tiers environ.

L'ammoniaque elle-même diminue un peu, retenue probablement en petite portion par l'hydrate ferrique.

Le résidu minéral augmente; cela est dû à l'acide sulfurique du réactif qui reste fixé sur les éléments minéraux de l'eau.

Mais cela ne présente aucun inconvénient.

L'épuration est donc aussi complète qu'on peut le désirer. Dans la pratique, il n'est pas possible de pousser l'épuration au delà de certaines limites. Tout ce qu'on peut se proposer,

c'est de faire disparaître l'infection et de rejeter des eaux limpides et imputrescibles.

Nous avons examiné à ce dernier point de vue les eaux épurées par le sulfate ferrique.

A plusieurs reprises, nous avons placé des flacons remplis d'eau épurée telle quelle ou étendue de son volume d'eau ordinaire à l'étuve à 30° pendant plusieurs semaines.

Dans tous les cas, l'eau est restée limpide et sans odeur.

On peut donc en conclure que les eaux épurées par le sulfate ferrique sont imputrescibles. Nous n'avons pas fait l'examen des bactéries que retient l'eau qualitativement et quantitativement, laissant ce soin au laboratoire de M. Calmette s'il juge que la chose mérite d'être étudiée.

En résumé, l'eau d'égout traitée par le sulfate ferrique est limpide et suffisamment épurée pour être rendue imputrescible et, par conséquent, elle peut être rejetée sans inconvénient. C'est tout ce qu'on peut demander.

D'autre part l'opération en elle-même est, comme on l'a vu d'après la description que nous en avons donnée, extrêmement simple et tout à fait pratique ; l'appareil une fois réglé ne demande que très peu de surveillance. Le matériel nécessaire pour l'installation du procédé n'est ni considérable ni coûteux, ni encombrant, et ne demande qu'une faible surface de terrain.

Le sulfate ferrique présente en outre l'avantage de donner un résultat très régulier qu'on peut obtenir en tout temps et partout.

Prix de revient.

Il serait extrêmement intéressant de pouvoir établir exactement le prix de revient de l'opération.

Malheureusement je n'ai pas actuellement les documents nécessaires pour l'établir.

Je me propose de les réunir pour les donner dans un prochain rapport.

Actuellement je ne suis exactement fixé que sur un point : c'est la dépense en réactif, qui serait au maximum de 1 centime par mètre cube pour les eaux de la Madeleine qui exigent,

je le répète, beaucoup plus de réactif que les autres eaux d'égout dont j'ai eu l'occasion de m'occuper.

Je préparerai donc pour un prochain rapport le devis du matériel nécessaire pour une installation définitive et pour un volume d'eau déterminé.

En y joignant la main-d'œuvre, on aura ainsi tous les documents nécessaires pour établir un prix de revient exact.

Boues d'épuration.

Reste maintenant la question des boues d'épuration qui a fixé particulièrement notre attention, car dans tous les procédés chimiques cette question est capitale.

Les boues résultant de l'épuration, lorsque les bassins en contiennent des quantités suffisantes, sont éliminées par la vanne de fond et recueillies dans une citerne spéciale dont nous avons parlé plus haut.

Ces boues à leur sortie des bassins sont fluides et renferment environ 95 pour 100 d'eau. Elles n'ont aucune odeur et elles peuvent être maniées sans inconvénient.

Il faut commencer par les essorer.

En grand, on a pour cela des filtres-presse qui rendent la masse sous forme de tourteaux ne contenant plus qu'environ 50 pour 100 d'eau. Nous nous sommes assuré par des essais en petit que ces boues passeraient très bien au filtre-presse.

S'il était nécessaire de les réduire à un état de siccité plus grand on pourrait sécher les tourteaux du filtre-presse à l'air ou bien dans des appareils perfectionnés dont on a aujourd'hui d'excellents modèles.

Nous avons pris des échantillons moyens de ces boues et nous en avons fait l'analyse chimique dont voici le résultat rapporté à la matière sèche.

	%			
Matière organique (Perte au rouge)	39,16			39,16
Matière minérale (Résidu fixe au rouge)	60,84	dont :	Fe^2O^3	39,80
			Al^2O^3	7,20
			Sable, argile	13,84
	100,00			100,00

Acide phosphorique P^2O^5 . . . . 1,82 %
Azote . . . . 0,87 %

M. Boullanger, de l'Institut Pasteur de Lille, étudie la valeur agricole de ces boues.

D'autre part on voit que ces boues renferment environ 40 pour 100 de matières organiques, ce qui montre que, comme combustible utilisable dans certaines conditions spéciales, elles auraient une certaine valeur.

Un point important à considérer c'est la quantité de boue que fournirait le traitement au sulfate ferrique.

Nous ferons d'abord remarquer que ces boues d'épuration sont formées de deux parties.

Elles comprennent : 1° les matières qui étaient en suspension dans l'eau et 2° le précipité formé par le réactif.

Nous avons cherché à établir la quantité totale de résidu obtenu par mètre cube et en outre la proportion suivant laquelle entrent dans ce total les matières en suspension et le précipité chimique.

Pour cela nous avons prélevé de nombreux échantillons moyens aussi exactement que possible.

Nous ne nous faisons pas d'illusions sur la difficulté qu'il y a à obtenir une moyenne dans ces conditions, surtout pour la matière en suspension dont la quantité est extrêmement variable. Néanmoins cette détermination, toute grossière qu'elle est, nous donnera une indication intéressante.

Nous avons ajouté du sulfate ferrique en quantité convenable 1° à l'eau brute moyenne; 2° à l'eau brute moyenne préalablement filtrée.

Nous avons recueilli le précipité dans les deux cas et, après dessiccation, nous avons déterminé son poids.

On a obtenu aussi deux nombres dont l'un est le poids total du précipité et l'autre le poids du précipité obtenu par le réactif chimique.

La différence entre ces deux nombres nous a donné le poids des matières en suspension.

Voici les résultats des expériences :

Poids du précipité séché obtenu avec l'eau brute. .	645 gr. par Mc^3.
Poids du précipité séché obtenu avec de l'eau filtrée.	230 gr. par Mc^3.
Matières en suspension	415 gr. par Mc^3.

On voit que la proportion des matières en suspension est considérable; elle représente environ les deux tiers du poids

du précipité total. Le précipité chimique n'entre que pour un tiers environ dans le poids du résidu.

Quel que soit le procédé d'épuration employé, il faudra séparer par des bassins de décantation ou autrement ces matières en suspension, d'ailleurs très riches en matières minérales, argile, sable, etc., comme le montre l'analyse que nous avons donnée plus haut.

Si nous reprenons le nombre de 645 grammes de précipité séché obtenu par mètre cube d'eau épurée et si nous le calculons à raison de 95 pour 100 d'eau, c'est-à-dire à l'état de boue, tel qu'il sort des bassins de décantation, on trouve qu'il correspond à $12^{kgr},9$ par mètre cube.

Il y aurait donc à passer au filtre-presse environ 15 litres de boue fluide par mètre cube d'eau épurée, soit $1^{m^3},500$ litres pour 100 mètres cubes d'eau épurée.

Le filtre-presse ramènerait cette quantité à 650 kilogrammes de tourteaux à 50 pour 100 d'eau.

L'épuration de 100 mètres cubes d'eau fournirait donc environ 650 kilogrammes de résidu à 50 pour 100 d'eau dans lesquels les matières en suspension entrent environ pour les deux tiers.

B. — Épuration par le chlorure ferrique.

Le chlorure ferrique a la même action sur les eaux contaminées que le sulfate ferrique.

Il agit également par l'hydrate ferrique mis en liberté.

Le chlorure ferrique présente sur le sulfate ferrique l'avantage de ne pas introduire dans l'eau de l'acide sulfurique qui passe à l'état de sulfates, lesquels peuvent, dans certaines conditions, être réduits à l'état de sulfures.

Cet inconvénient, il est vrai, ne peut se produire que dans le cas où l'eau a été très incomplètement épurée et quand elle reste chargée de matières organiques putrescibles.

Le chlorure ferrique ne présente qu'un seul inconvénient, c'est d'être plus coûteux que le sulfate ferrique.

Les établissements Kuhlmann nous ont fourni ce réactif en solution à 55° B^{e}, contenant 60 pour 100 de Fe^2Cl^6, à 7 francs les 100 kilogrammes.

Nous avons fait une série d'essais avec ce réactif.

L'opération ne présente rien de particulier; elle est conduite exactement de la même façon qu'avec le sulfate ferrique; tout se passe de même.

La dépense en réactif avec le chlorure ferrique précédent, compté à 7 francs les 100 kilogrammes est d'environ 5 centimes par mètre cube.

Il est vrai que ce prix de 7 francs serait diminué pour de grandes quantités, mais, quoi qu'il en soit, il serait toujours plus élevé que celui du sulfate ferrique.

L'eau épurée par le chlorure ferrique est très belle, parfaitement limpide, sans odeur, imputrescible.

Le degré d'épuration obtenu est sensiblement le même qu'avec le sulfate ferrique.

Voici comme exemple le résultat d'une analyse d'eau ainsi épurée :

	Eau brute filtrée 17 juin 1905 — par litre.	Eau épurée 17 juin 1905 — par litre.
Extrait sec à 180°.	1gr,420	1gr,540
Perte au rouge.	0gr,420	0gr,292
Matières minérales.	1gr,000	1gr,248
— organiques en O . . .	20millig,5	9millig
Ammoniaque totale.	16millig	16millig
Ammoniaque libre	9millig	9millig
Azote dans le résidu sec	17millig	4millig

C. — Épuration par les sels ferriques combinés avec le chlorure de chaux.

L'eau épurée par les sels ferriques renferme encore en dissolution une certaine quantité de matières organiques qui ne peuvent être enlevées, même par un excès de réactif; ce sont surtout des matières hydro-carbonées, celles sur lesquelles l'hydrate ferrique est sans action.

Celles-ci ne peuvent être éliminées que par l'emploi d'un réactif oxydant.

Pratiquement il en est deux qui peuvent convenir : ce sont le chlorure de chaux et le permanganate de chaux, que l'industrie livre aujourd'hui à très bas prix.

Certaines matières solides, telles que le peroxyde de fer,

le bioxyde de manganèse, qu'on pourrait employer comme garniture du filtre, agiraient sans doute de même; c'est ce que nous comptons examiner dans la suite.

Ainsi le chlorure de chaux, en solution titrant 15°, c'est-à-dire dégageant 15 litres de chlore actif par litre de solution, se vend à 5 francs les 100 kilogrammes au maximum.

Nous avons fait une série d'essais sur les eaux de la Madeleine en combinant les sels ferriques au chlorure de chaux.

On peut faire réagir ces deux réactifs sur l'eau à épurer, ensemble ou successivement.

Il est plus pratique de mélanger les deux produits.

On peut ajouter en effet à la solution étendue de sulfate ferrique une certaine quantité de chlorure de chaux liquide, sans produire de précipité et sans provoquer de dégagement de chlore.

Le mélange cependant prend l'odeur prononcée de chlore.

Ainsi à 100 litres de la solution au 10° de sulfate ferrique on peut ajouter sans inconvénient jusqu'à 5 litres de chlorure de chaux, à 15° correspondant à 75 litres de chlore actif, à condition d'employer le réactif immédiatement.

Si on désirait employer en plus grande quantité le chlorure de chaux, il faudrait introduire les deux réactifs successivement par deux distributeurs spéciaux.

Cette addition de chlorure de chaux, qui est toujours très minime, correspondant à 5 litres de chlore au maximum par mètre cube d'eau, n'élève pas sensiblement le prix de revient de l'opération.

Le chlorure ferrique se prête au même mélange et se comporte exactement de même.

Les deux réactifs agissent en réalité chacun pour son compte.

Les sels ferriques précipitent surtout les matières azotées et le chlore brûle les matières hydro-carbonées.

Lorsque l'opération est terminée, l'eau épuisée ne renferme plus trace de chlore libre qui est passé à l'état de chlorure; l'emploi combiné de ces deux réactifs donne naturellement une épuration plus complète. Une portion plus grande de matières organiques est éliminée.

L'eau obtenue est en outre tout à fait limpide, absolument

imputrescible, et il serait intéressant de voir si elle est complètement stérilisée.

Pour des eaux très chargées en matières organiques, ce procédé serait tout à fait recommandable.

Nous avons fait une série d'essais dans ces conditions et tous nous ont donné les meilleurs résultats.

Voici l'analyse de l'eau de la Madeleine épurée par le sulfate ferrique et le chlorure de chaux, à raison de 200 grammes de sulfate ferrique et 5 litres de chlore actif par mètre cube.

	Eau brute filtrée — par litre.	Eau épurée — par litre.
Extrait sec à 180°.	$1^{gr},520$	$1^{gr},630$
Perte au rouge.	$0^{gr},415$	$0^{gr},198$
Matières minérales	$1^{gr},105$	$1^{gr},432$
— organiques en O . . .	26^{millig}	7^{millig}
Ammoniaque totale.	17^{millig}	13^{millig}
Azote dans le résidu sec. . . .	21^{millig}	5^{millig}

Nous continuerons nos recherches et, dans un prochain rapport, nous exposerons les résultats obtenus avec les différents antres respectifs susceptibles d'être employés industriellement.

CHAPITRE IX

PLAN SCHÉMATIQUE D'UNE INSTALLATION D'ÉPURATION BIOLOGIQUE POUR UNE VILLE PRODUISANT 10 000 MÈTRES CUBES PAR JOUR D'EAU D'ÉGOUT. — LITS BACTÉRIENS INTERMITTENTS A DOUBLE CONTACT OU A PERCOLATION. — SYSTÈME D'ÉGOUTS SÉPARATIFS OU SYSTÈME UNITAIRE.

Pour faciliter aux administrations publiques et aux villes l'élaboration de leurs projets d'assainissement par l'épuration biologique des eaux d'égout, nous décrirons ci-après les grandes lignes du programme auquel elles doivent se conformer, et, pour être mieux compris, nous établirons successivement le schéma d'un type d'installation par le procédé des lits de contact pour une ville de 100 000 habitants et celui d'un type d'installation par lits bactériens à percolateurs pour une ville de 10 000 habitants.

I. **Plan d'épuration biologique par lits de contact.** — Nous supposerons tout d'abord que la ville dans laquelle il s'agit d'instituer l'épuration est desservie par un réseau complet d'égouts du système séparatif et qu'elle dispose d'une pente de terrains suffisante pour conduire toutes les eaux vannes par simple gravitation jusqu'à leur rejet, complètement épurées, dans un cours d'eau.

Si cette pente n'existait pas, il faudrait prévoir le refoulement ou l'aspiration mécanique, soit par les éjecteurs *Shone*, très appréciés dans un grand nombre de villes anglaises et dont le rendement est excellent, soit par des postes de pompes élévatoires ou de dynamo-pompes électriques, soit par tout autre dispositif mécanique que les circonstances locales permettraient de préférer.

Nous envisageons, d'autre part, l'hypothèse d'un système d'égouts séparatif, parce que ce système apparaît manifestement comme le plus conforme aux desiderata de l'hygiène et aux nécessités de l'épuration. On sait qu'il consiste à recueillir séparément, au moyen de canalisations en poterie vernissée ou en fonte, de petit calibre, les eaux vannes ménagères et le produit des water-closets, — les eaux pluviales étant collectées dans d'autres canaux souterrains en poteries ou en ciment, et déversées après une simple décantation dans les cours d'eau. Ces dernières n'ont pas besoin d'être épurées : il suffit de les soumettre à une sédimentation qui a pour but d'arrêter les sables et les impuretés des rues. Leur volume est tellement variable suivant les conditions atmosphériques, que leur mélange avec les eaux vannes rend l'épuration de celles-ci extrêmement onéreuse et irrégulière. On doit donc les écarter de propos délibéré, partout où il s'agit de construire un nouveau réseau d'égout. Nous verrons d'ailleurs plus loin comment les villes déjà pourvues d'un réseau unitaire, réunissant dans une même canalisation à grande section les eaux ménagères et les eaux pluviales, peuvent s'y prendre pour tourner la difficulté.

Supposons donc que nous avons à épurer un volume d'eaux vannes à peu près constant de 10000 *mètres cubes par jour*, correspondant à une population moyenne de 100000 habitants, à raison de 100 litres par habitant et par jour.

Ce chiffre de 100 litres par habitant et par jour représente l'ensemble de tous les *excreta* individuels et ménagers, c'est-à-dire les matières fécales, les urines, les eaux de cuisine et celles utilisées pour la propreté du logement et du corps : toilette, bains, chasses de water-closets, etc.

On compte, en calculant d'après les moyennes de tous les âges, que chaque individu produit quotidiennement 1100 grammes d'urines et 90 grammes de matières fécales (à l'état frais), soit, en volume, environ 1 litre et demi d'excrétions[1].

Les 100 000 habitants de notre ville fourniront donc un total

(1) Les matières fécales renferment 75 pour 100 d'eau et 22 pour 100 de substances organiques dont 3,5 de phosphate et 2,5 d'azote; les urines 95 pour 100 d'eau, 0,5 de phosphate et 1,4 pour 100 d'azote.

de 150 mètres cubes d'excrétions (9000 kilogrammes de matières fécales et 140 000 kilogrammes d'urines) contenant ensemble 8000 kilogrammes de matières organiques et minérales, pesées à l'état sec.

Il faut ajouter à ces chiffres le produit des excrétions des animaux domestiques. Or, un cheval, par exemple, donne en vingt-quatre heures environ 15 kilogrammes d'excréments (crottin et urine), contenant 100 milligrammes d'azote et $1^{kgr},500$ de matières sèches. En estimant à 2000 le nombre des grands animaux domestiques (chevaux et bovidés), dans une ville de 100 000 habitants, nous trouvons qu'il faut compter, de ce chef, un supplément de 3000 kilogrammes de matières organiques et minérales sèches.

Nos 10 000 mètres cubes d'eau d'égout quotidiens renfermeront donc, dans leur ensemble et largement calculés, 11 000 kilogrammes de matières sèches (soit $1^{kgr},100$ par mètre cube) que nous devrons dissoudre, désintégrer et ramener à l'état de matière minérale.

Ces préliminaires essentiels étant fixés, voici comment il convient d'établir les dispositifs d'épuration biologique par le procédé des *lits de contact* (*Voir fig.* 14).

L'extrémité de l'égout collecteur, convenablement élargie *pour amortir le courant*, déversera tout d'abord son flot dans une chambre à doubles grilles et à peignes sur lesquels seront retenus les corps volumineux flottants, d'une dimension supérieure à 5 centimètres.

Au delà de ces grilles, l'eau traversera avec un courant très faible, contrarié par des « chicanes », une chambre à sable, peu profonde, de 500 mètres cubes de capacité. Le fond de cette chambre à sable, incliné en sens inverse du courant, permettra aux résidus minéraux insolubles et imputrescibles (sable, charbon, scories, débris métalliques), de s'accumuler dans une cuvette qu'on aménagera près du point d'entrée, et d'où il sera facile de les enlever périodiquement avec une chaîne à godets ou une drague à main.

Les eaux s'achemineront ensuite avec une vitesse qui ne devra pas excéder 20 centimètres à la seconde, vers un canal qui desservira la série des *fosses septiques*, ou bassins de fermentation anaérobie, dans lesquels devra s'accomplir la transfor-

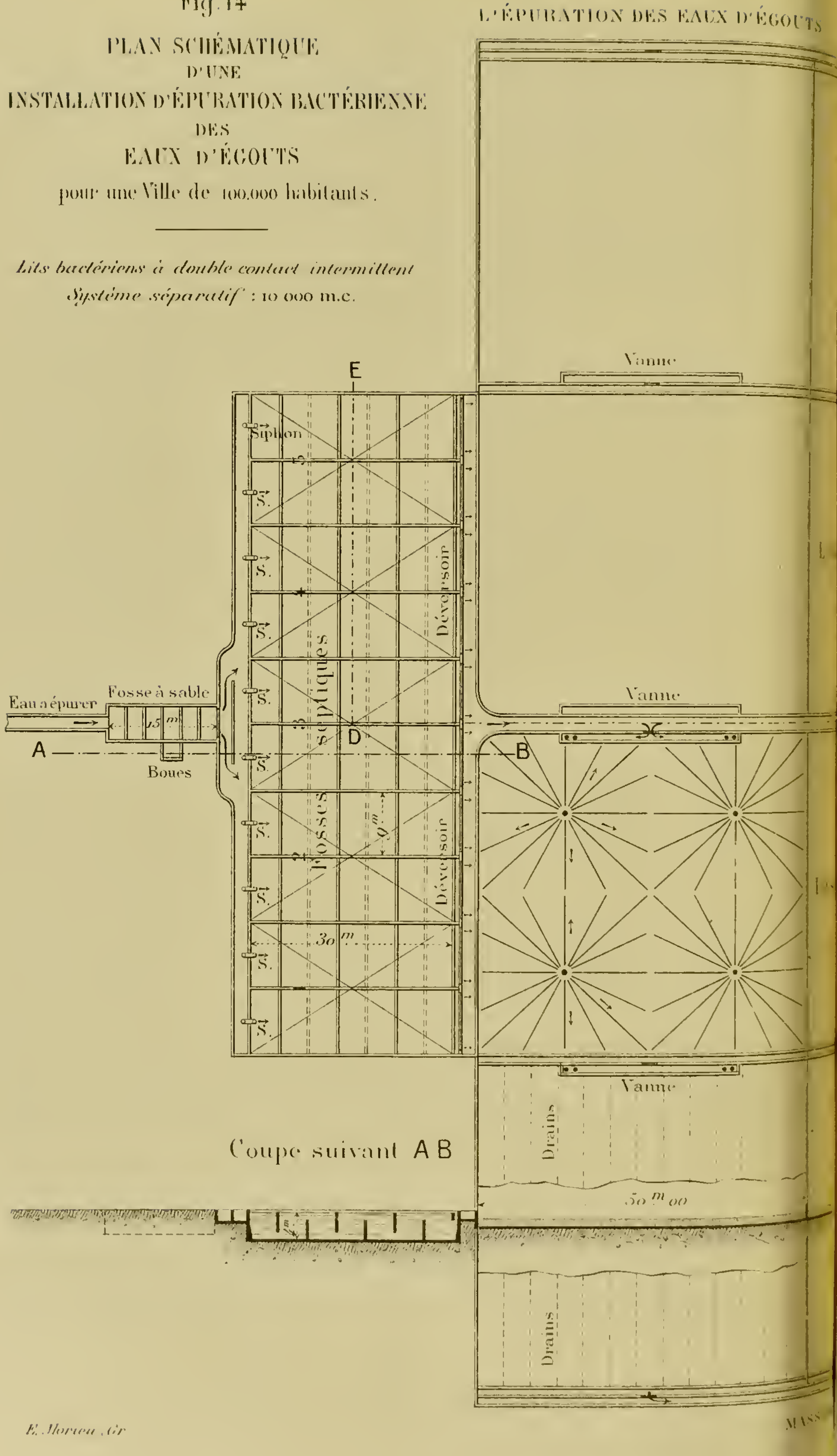
Fig. 14

PLAN SCHÉMATIQUE
D'UNE
INSTALLATION D'ÉPURATION BACTÉRIENNE
DES
EAUX D'ÉGOUTS

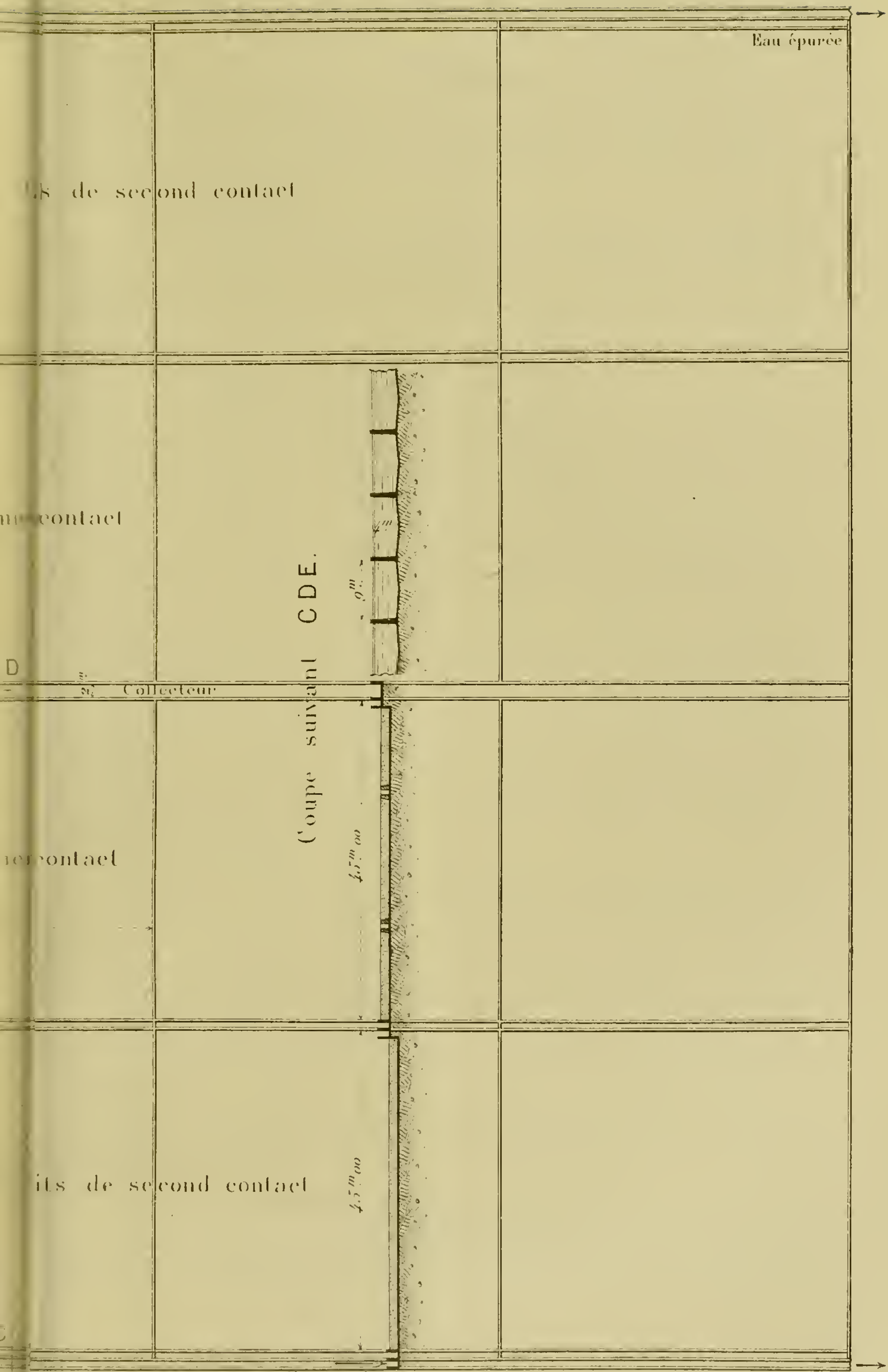
pour une Ville de 100.000 habitants.

Lits bactériens à double contact intermittent

Système séparatif : 10 000 m.c.



E. Morieu, Gr.



Lith. Dufrénoy, Paris.

mation des matières azotées en peptones, en composés amidés ou en ammoniaque, et la désintégration des substances ternaires (cellulose du papier et des végétaux, amidon, sucre, acides organiques, etc.), en hydrogène, eau, carbures d'hydrogène et acide carbonique.

A. *Fosses septiques.* — C'est dans ces fosses septiques que s'effectuera la dissolution plus ou moins lente, mais presque *totale*, des particules solides organiques en suspension dans le liquide.

Nous les établirons en série, au nombre de 5, chacune ayant une capacité volumétrique utile de 2000 mètres cubes. Leur profondeur devra être de 4 mètres à partir du point d'entrée des eaux, et elle ne sera plus que de $2^m,50$ à l'autre extrémité. Leur *sole* présentera une dépression angulaire médiane creusée dans toute la longueur pour faciliter, en cas de besoin (réparation, par exemple), la vidange des boues. Celle-ci se fera alors par simple pression du liquide surnageant, au moyen d'un conduit spécial qui les évacuera à l'extérieur.

L'admission des eaux du canal d'amenée à chacune des fosses septiques aura lieu au moyen d'un large siphon commandé par une vanne de réglage et à deux branches égales plongeant, l'une, dans le canal, l'autre, dans la fosse. Cette disposition est nécessaire pour éviter les courants de surface qui entraîneraient de l'air en trop grande quantité et gêneraient les fermentations anaérobies.

Les fosses, creusées parallèlement les unes aux autres dans le sens de la longueur, seront munies de cloisons incomplètes formant chicanes, pour amortir les courants et pour faciliter le dépôt des matières en suspension. Les substances de faible densité (graisses, débris de liège, poils, etc.,) émergeront à la surface, constituant bientôt un véritable chapeau plus ou moins épais, fendillé en mosaïque par la poussée des gaz, protégeant la masse de liquide sous-jacente du contact direct de l'air et favorisant ainsi les actions microbiennes anaérobies.

Les dimensions à donner aux fosses septiques seront telles que chaque molécule d'eau d'égout traverse l'une d'elles en vingt-quatre heures environ. Leur capacité totale sera, en con-

séquence, de 10000 mètres cubes, soit 2000 pour chaque fosse.

Toutes doivent rester *constamment pleines*, sans que jamais le niveau du liquide qu'elles renferment s'abaisse ou s'élève. Elles laisseront donc échapper par déversement, sur leur bord opposé à l'entrée, un volume d'eau correspondant exactement à celui des nouveaux apports.

Il est essentiel d'aménager dans chaque fosse, aussi près que possible du déversoir de sortie, une dernière chicane de surface plongeant jusqu'à 60 centimètres seulement au-dessous du niveau du liquide, afin de retenir les dernières particules flottantes et de ne livrer passage qu'aux eaux ne renfermant plus de matières non dissoutes.

Les déversoirs de nos cinq fosses septiques laisseront tous écouler leur liquide dans un canal collecteur commun, large et peu profond, qui conduira les eaux jusqu'à l'entrée de chaque lit bactérien de premier contact, où commencera la troisième phase de l'épuration, c'est-à-dire la fixation des matières organiques dissoutes sur des substances capables de servir en même temps de supports aux microbes oxydants aérobies (scories ou mâchefer).

Ces dispositifs étant établis, voyons maintenant comment nous devrons assurer le fonctionnement régulier de nos fosses septiques.

Il faut savoir, tout d'abord, que les fermentations anaérobies s'amorcent lentement. Au début de la mise en route, les eaux qui s'écoulent du déversoir seront simplement décantées : elles garderont une odeur fécaloïde et les matières en suspension s'accumuleront dans leur ordre de densité, soit à la surface, soit dans la profondeur de la fosse, entre les « chicanes ». Peu à peu, après deux ou trois semaines, l'odeur fécaloïde disparaîtra, supplantée par celle des gaz qui résultent de la désintégration des matières hydrocarbonées ou azotées. Ces gaz, ajoutés à ceux qui sont déjà présents dans l'eau brute, sont constitués par environ 20 pour 100 de méthane, 20 pour 100 d'hydrogène et 60 pour 100 d'azote mélangé d'une petite quantité d'acide carbonique. Ils sont combustibles, mais pratiquement inutilisables, car la somme totale de l'hydrogène et du méthane produite par 1 mètre cube d'eau

d'égout s'élève seulement à 10 litres en moyenne pendant les vingt-quatre heures de fermentation.

Au bout d'un mois, le levain de ferments anaérobies formé dans la fosse aura acquis une activité suffisante pour dissoudre chaque jour une quantité de matières organiques égale à celle qu'apportera le flot d'eau d'égout.

Et désormais, à partir de ce moment, la marche de la solubilisation deviendra constante.

Nous avons vu plus haut que l'influence des saisons peut être considérée comme nulle. Les eaux d'égout sont toujours assez chaudes pour que la température des fosses septiques ne s'abaisse pas, même pendant les plus grands froids de nos climats, au dessous de + 16° centigrades. Nous avons établi également qu'il n'y a aucun avantage à soustraire complètement le liquide au contact de l'air, en couvrant les fosses d'une voûte ou d'une plate-forme en ciment. Une telle couverture, dont le prix est toujours assez élevé, ne peut être recommandable que lorsqu'il s'agit de petites installations, faites au voisinage immédiat d'un endroit habité et lorsqu'il est indispensable de réduire au minimum les odeurs. Celles-ci, nous l'avons déjà dit, ne sont ni nuisibles, ni désagréables ; elles rappellent celles que l'on perçoit au voisinage d'une usine à gaz, mais ne sont nullement fécaloïdes.

Dans le cas où l'on exigerait que les fosses fussent couvertes, il serait nécessaire d'assurer, au moyen d'une ou deux cheminées de faible diamètre, l'évacuation des gaz provenant des fermentations anaérobies : l'oubli de cette précaution pourrait entraîner des accidents graves par explosion.

En somme, les fosses septiques (*Septic Tanks* des Anglais) que nous venons de décrire, ne sont autre chose que la fosse automatique de *Mouras*, déjà connue en France depuis 1881, décrite par l'abbé Moigno dans la revue *Cosmos* en 1882 et qui avait pour but de remplacer les anciennes fosses d'aisance fixes par des réservoirs permettant la solubilisation des matières solides et le déversement de leur trop plein liquéfié à l'égout.

Les dispositifs qui ont été proposés par divers auteurs pour la modifier (Septic Tank de *Cameroun*, Hydrolytic Tank de *Travis*, fosses *Simplex*, etc.), ne lui ont apporté aucun perfectionnement vraiment utile.

B. *Lits bactériens de contact.* — La surface des lits bactériens nécessaire pour épurer les 10 000 mètres cubes d'eau sortant quotidiennement de nos fosses septiques par 2 *contacts* successifs, sera de 20 000 mètres carrés.

Les lits seront construits de telle manière que l'eau sortant d'un *premier contact*, c'est-à-dire d'un premier lit, puisse être distribuée par gravitation à la surface d'un second lit ou *lit de second contact* et être évacuée ensuite, soit sur des terrains irrigables, soit dans un cours d'eau. Il faut donc nécessairement disposer d'une dénivellation du sol au moins équivalente à la profondeur des deux lits à partir du déversoir des fosses septiques, soit environ $2^m,50$.

L'ensemble des lits de premier contact, établis au niveau le plus élevé, occupera une surface de 10 000 mètres carrés divisée en deux séries de 5000 mètres chacune, l'une à droite, l'autre à gauche d'un canal collecteur amenant l'eau sortie des fosses septiques. Chaque série de 5000 mètres carrés sera divisée elle-même en quatre compartiments séparés l'un de l'autre par des murs en maçonnerie et ayant chacun 1250 mètres carrés de surface et $1^m,20$ de profondeur, avec une légère pente de 1 centimètre par mètre, pour assurer l'écoulement des eaux du point d'entrée vers les vannes d'évacuation. Les dimensions des bassins et le calibre des vannes qui les alimentent doivent être calculés de manière que leur remplissage puisse s'effectuer au maximum en une heure, et leur vidange dans le même laps de temps.

Le fond des bassins sera bétonné afin d'éviter les infiltrations souterraines, et muni d'un drainage en tuyaux de poteries ou mieux en petites tuiles faîtières renversées, disposées parallèlement, de manière à diriger l'eau de sortie vers un drain collecteur latéral qui débouchera vers la ou les vannes de vidange.

La forme des lits sera, autant que possible, carrée ou rectangulaire ; mais, dans ce dernier cas, on s'arrangera pour que les eaux les traversent dans le sens de leur plus grande longueur.

Le remplissage de chaque bassin sera effectué de préférence avec des scories ou mâchefer. A défaut de scories, on pourra utiliser du coke ou un mélange de coke et de briques concas-

sées, ou des pierres poreuses telles que la pouzzolane. Les matériaux *poreux* conviennent seuls. On ne se servira, dans aucun cas, de pierres compactes ni de gravier.

La dimension de ces matériaux sera réglée de la manière suivante :

$0^m,1$ à $0^m,15$ sur les drains et sur une épaisseur de $0^m,25$ à partir du fond ;

$0^m,02$ à $0^m,05$ sur tout le reste.

On évitera avec soin les poussières et, à cet effet, nous recommandons de n'employer que des matériaux criblés et, autant que possible, lavés.

Ces matériaux de remplissage occupent environ les deux tiers de la capacité volumétrique des lits.

Sur chaque lit, on creusera une série de rigoles disposées en rayonnant, à partir des vannes d'admission de l'eau, de manière à assurer la répartition aussi régulière que possible de celle-ci à la surface des scories. Un rebord de maçonnerie, étalé en éventail au-devant des vannes, évitera le déplacement des matériaux sous l'influence du courant.

Les lits de second contact seront exactement construits comme les précédents, en contre-bas de $1^m,20$ et de telle manière que l'eau sortant des premiers puisse s'écouler directement sur eux.

Il nous reste maintenant à préciser le fonctionnement du système :

Rappelons tout d'abord que le principe des lits de contact est l'*intermittence*, c'est-à-dire que l'eau à épurer doit séjourner pendant 2 *heures* sur un lit de premier contact, puis 2 *heures* sur un lit de second contact avant d'être évacuée définitivement.

Pendant les périodes d'immersion, les matériaux (scories, coke, briques ou pouzzolane) fixent, comme le ferait un tissu plongé dans un bain de teinture, les matières organiques dissoutes que renferment les eaux d'égout sortant de la fosse septique.

Pendant la période d'aération subséquente, les microbes, qui se multiplient très activement dans les pores de ces matériaux, empruntent de l'oxygène à l'air atmosphérique et oxydent la matière organique fixée, accomplissant alors la

quatrième et dernière phase de l'épuration. Cette oxydation aboutit à la formation de *nitrites* puis de *nitrates*.

Les nitrates ainsi formés sont dissous et entraînés par le liquide introduit de nouveau sur le lit bactérien au moment d'une nouvelle période d'immersion. Les matériaux poreux sont, dès lors, prêts à fixer une nouvelle quantité de matière organique, et le cycle recommence.

On a constaté expérimentalement qu'en règle générale, lorsque l'eau à épurer ne renferme pas plus de 250 milligrammes d'azote organique par litre (calculé en ammoniaque), le premier contact fixe et détruit environ 50 pour 100 de cet azote organique. Le second contact fixe et détruit ensuite de 50 à 75 pour 100 de l'azote restant. Finalement, l'eau sortant du second contact présente un coefficient d'épuration de 86 à 92 pour 100 : elle est limpide, inodore, imputrescible, et nullement nocive pour les plantes aquatiques ou pour les poissons.

Avec le dispositif de 8 lits de premier contact et 8 lits de second contact que nous conseillons d'adopter, les alternances de fonctionnement de chaque lit doivent être réglées de la manière suivante [1] :

1 heure pour remplir.

2 heures de plein.

1 heure pour vider.

4 heures de vide pour aérer les scories, soit 8 heures par période.

Chaque lit peut donc fonctionner 3 fois par 24 heures et comme à chaque remplissage il reçoit en volume d'eau un tiers de sa capacité volumétrique, l'ensemble des lits de premier contact doit recevoir en 24 heures les 10 000 mètres cubes d'eau à traiter. Il en sera de même des lits de second contact.

Bien entendu, les lits fonctionnent tous à des périodes différentes les uns des autres, de telle sorte que, pendant le cycle de 8 heures, l'un d'entre eux soit en remplissage, un autre en vidange, deux autres pleins, et quatre en aération. On comprend de suite que rien n'est plus simple que d'établir un horaire pour l'ouverture et la fermeture des vannes qui les alimentent.

[1] Pour de plus grandes installations, on construirait 16, ou 24, ou 32 lits de chaque contact.

Remarquons enfin qu'il est essentiel, pendant les périodes d'aération, de maintenir les vannes de vidange ouvertes, afin d'assurer l'évacuation complète de chaque lit par égouttage après la sortie du flot principal.

On pourrait craindre que le travail des microbes nitrificateurs ne s'effectuât pas dans de bonnes conditions lors des grands froids de la saison d'hiver. Il n'en est rien heureusement, et ici encore l'expérience nous a prouvé que les alternatives d'immersion et d'aération empêchent la formation de couches de glace à la surface des scories, et que la température des eaux d'égout sortant des fosses septiques est toujours assez élevée pour entretenir le travail utile des microbes.

C. *Frais de première installation et d'entretien.* — Au point de vue économique, il apparaît de toute évidence que la construction des lits bactériens est infiniment moins coûteuse que l'achat et l'aménagement d'une surface au moins 50 *fois plus considérable* de terrains drainés en vue de l'épuration agricole. On peut estimer, en moyenne, à 15 francs par mètre carré de surface, les frais de première installation de ces lits, c'est-à-dire que les 2000 mètres carrés de lits bactériens coûteraient environ 300 000 francs, somme à laquelle il faut ajouter les frais de construction des 5 fosses septiques et des canaux collecteurs, soit en tout, largement comptés, 600 000 francs. Or, les 200 *hectares* de terrains irrigables qui seraient au minimum nécessaires pour épurer par l'irrigation agricole le même volume d'eau d'égout coûteraient, au voisinage des villes de 100 000 habitants, un prix d'achat au moins égal, et il faudrait dépenser des sommes considérables pour les drainer, les cultiver et les entretenir en bon état.

Avec les lits bactériens, la dépense d'entretien et de fonctionnement est presque nulle. Les mêmes scories restent en place indéfiniment *sans jamais se colmater* puisqu'elles ne reçoivent que des matières dissoutes, les fosses septiques ayant préalablement retenu toutes les matières en suspension dans l'eau d'égout. Tout au plus est-il nécessaire de racler leur surface au râteau une fois par trimestre. Et la seule main-d'œuvre qu'ils nécessitent est réduite à quelques hommes auxquels est dévolue la charge d'ouvrir et de fermer les vannes de chaque lit.

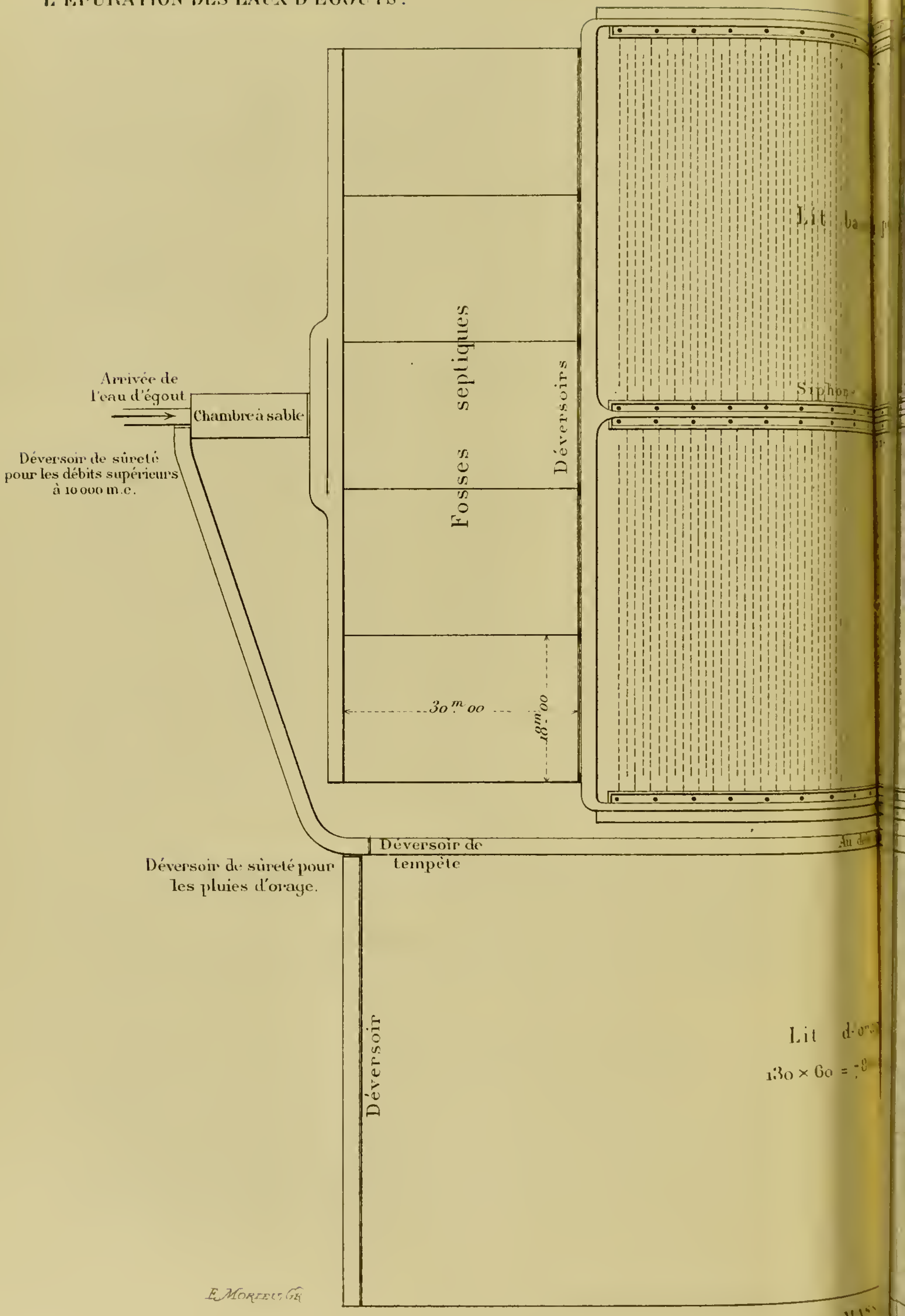
Encore, cette main-d'œuvre peut-elle être aisément supprimée, car il existe plusieurs dispositifs de siphons automatiques parmi lesquels on n'a que l'embarras du choix et qui permettent d'assurer les remplissages et les vidanges périodiques sans qu'il soit besoin d'exercer aucune surveillance. Les plus recommandables de ces appareils sont les siphons d'*Adams*, les valves automatiques de *Mather and Platt* (de Manchester) et les *siphons de chasse* que construisent plusieurs maisons françaises. On doit seulement veiller avec grand soin, lorsqu'on les emploie, à ce que leur fonctionnement soit réglé de telle manière que l'eau ne puisse jamais séjourner sur les lits bactériens pendant plus de deux heures, cette condition étant d'une importance capitale.

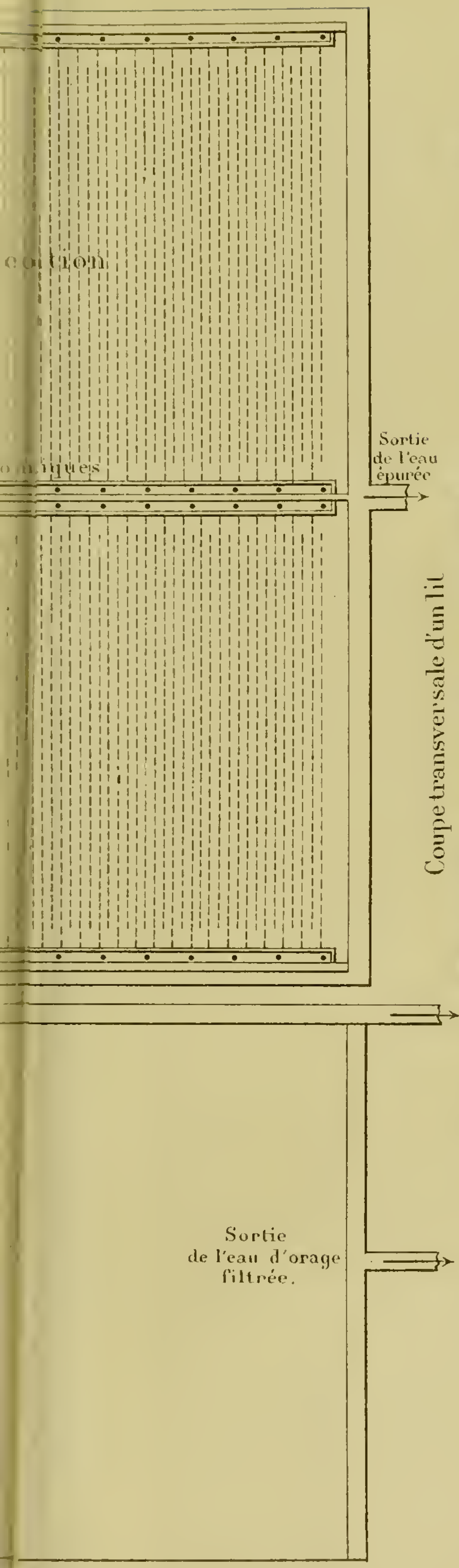
Les lits bactériens intermittents, tels que nous venons de les décrire, présentent de grands avantages économiques en raison de leur simplicité de construction et de leur durée à peu près indéfinie. Comme ils n'exigent aucun mécanisme, les frais d'entretien sont presque nuls.

Toutefois, leur capacité d'épuration étant le plus souvent limitée à 500 litres par mètre carré de surface et par 24 heures, et certaines villes éprouvant des difficultés à trouver dans leur voisinage immédiat des espaces de terrains suffisants, on peut être conduit à adopter de préférence l'un des dispositifs mécaniques que nous avons décrits, qui permettent d'augmenter les quantités d'eau d'égout épurées sur une même surface, et de supprimer les alternances d'immersion et d'aération.

L'emploi de ces dispositifs, le plus souvent coûteux et généralement assez délicats, nous paraît surtout indiqué dans les villes de moindre importance, de 500 à 10 000 habitants par exemple, parce qu'alors *il y a un très grand intérêt à supprimer aussi complètement que possible toute main-d'œuvre.*

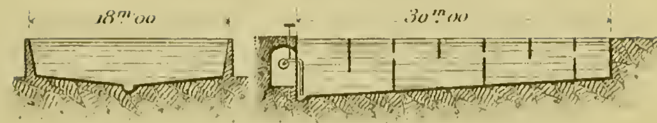
II. Plan d'épuration biologique par lits bactériens à percolation. — Nous supposerons, néanmoins, qu'il s'agit d'adapter ce mode de distribution automatique à l'épuration des eaux d'égout d'une ville de 100 000 habitants, comme la précédente, produisant également 10 000 mètres cubes d'eaux vannes de tout à l'égout avec *système séparatif.*


Arrivée de l'eau d'égout
Chambre à sable
Déversoir de sûreté pour les débits supérieurs à 10 000 m.c.
Fosses septiques
Déversoirs
30.m 00
18.m 00
Lit ba
Siphon
Déversoir de sûreté pour les pluies d'orage.
Déversoir de tempête
Déversoir
Lit d'o
130 × 60 =
E. Morieu Gr.





Coupes d'une fosse.



Chicane



Tuile faîtière perforée,
pour la distribution de l'eau
à la surface des lits.



Coupes de la chambre à sable



Siphon

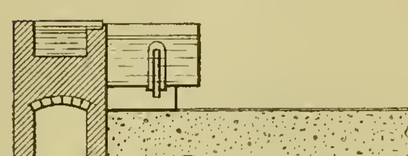


Fig. 15

PLAN SCHÉMATIQUE
D'UNE
INSTALLATION D'ÉPURATION BACTÉRIENNE
DES
EAUX D'ÉGOUTS.

Système de siphons percolateurs,
pour 100 000 habitants: 10 000 mètres cubes par jour.

Lits continus – Surface : 10000 m.q.
Fosses septiques : 5 – Capacité 2000 m.c chacune
Lit d'orage – Surface 7800 m.q.
Nombre de siphons percolateurs : 84.

Le plan schématique, en pareil cas, devrait être établi comme suit (*fig.* 15) :

1° Les grilles à peignes retenant les corps volumineux et flottants, la chambre à sable et les fosses septiques, au nombre de cinq, de 200 mètres cubes de capacité chacune, seront construites exactement d'après les indications déjà fournies. Il n'y a rien à changer dans ces dispositifs.

2° L'effluent des fosses septiques, recueilli dans un canal distributeur en forme de T, sera dirigé par moitié sur deux vastes lits bactériens qui s'étendront de chaque côté de la branche horizontale du T.

Ces lits, qu'il n'est plus nécessaire de diviser en compartiments comme dans le cas des lits de contact, devront avoir une épaisseur minima de 1^{m},75 et, si on dispose d'une dénivellation suffisante, il sera avantageux de leur donner une épaisseur de 2 mètres ou même de 2^{m},50, surtout si les eaux sont très concentrées. La surface de chacun d'eux sera de 5000 mètres carrés. Les scories pourront être simplement tassées en talus à bords obliques, sans murs de soutènement, sur une sole en béton pour éviter les infiltrations souterraines. Si l'on préfère les enfermer entre des murs, le bord inférieur de ceux-ci sera largement ajouré sur trois côtés, de manière à permettre l'égouttement des eaux épurées tout autour du lit et l'évacuation de l'acide carbonique.

Une rigole collectrice, courant également sur trois côtés, conduira les eaux épurées à un collecteur commun. A la surface de chaque lit, de chaque côté du canal distributeur, on disposera une série de déversoirs distants de 4 ou 5 mètres les uns des autres, alimentant chacun le réservoir de chasse d'un siphon automatique à décharge intermittente.

42 siphons déversant chacun à chaque décharge 1 mètre cube, soit à raison d'une décharge toutes les dix minutes, 120 mètres cubes par jour, devront suffire sur chaque lit. L'ensemble des 84 siphons, disposés sur les deux lits, débitera ainsi 10 000 mètres cubes en 24 heures.

La répartition de l'eau à épurer s'effectuera le plus commodément à l'aide de rigoles distributrices creusées directement sur les scories et garnies de tuiles faîtières renversées, juxtaposées les unes à côté des autres, sans rejointoiement.

La construction du lit bactérien sera effectuée d'après les principes précédemment exposés, c'est-à-dire que, sur un drainage formé de tuiles faîtières, on accumulera d'abord des grosses scories sur 0m,40 environ de hauteur, puis des scories moyennes et enfin, sur 0m,50 de hauteur au moins vers la surface, des scories fines criblées de 0m,02 à 0m,05 de diamètre, soigneusement débarrassées de poussières.

Avec ce dispositif, une seule filtration suffisant à épurer convenablement les eaux d'égout de concentration moyenne, une surface de 10 000 mètres carrés ou 1 hectare de lits bactériens permettra de traiter facilement 10 000 mètres cubes par 24 heures, sans aucune main-d'œuvre autre que celle d'un surveillant qui devra s'assurer de temps en temps qu'aucun dépôt de boues n'encombre les réservoirs de chasse des siphons.

Les frais de première installation de ce système ne sont pas plus élevés que ceux des lits de contact. En y comprenant le prix des siphons automatiques, on peut tabler sur une dépense moyenne de 50 francs par mètre carré de surface. Mais comme cette surface est exactement moitié moindre qu'avec des lits de contact, on réalise encore, de ce chef, une économie importante sur le prix d'achat du terrain.

III. **Épuration biologique du tout à l'égout du système unitaire.** — Nous avons expliqué précédemment que, dans tous les cas où il s'agit d'épurer les eaux d'égout, soit par les procédés chimiques, soit par l'irrigation agricole, soit par les nouveaux systèmes biologiques, il était infiniment préférable de limiter l'épuration aux eaux vannes ménagères et aux matières de vidange, en recueillant à part les eaux de pluie et d'arrosage. Celles-ci peuvent-être simplement décantées et n'ont pas besoin d'être épurées. Malheureusement, beaucoup de villes, comme Paris, sont déjà pourvues d'un réseau d'égout *unitaire* à grande section, qui collecte à la fois les eaux vannes et les eaux pluviales ou d'arrosage et il est impossible de songer à recueillir désormais les premières dans un réseau séparatif. Il en résulte qu'on est obligé d'épurer un volume d'eau extrêmement variable, puisque les pluies d'orages vont

fréquemment jusqu'à décupler le volume normal que charrient les eaux d'égout par temps sec.

Non seulement ces conditions rendent l'épuration beaucoup plus irrégulière, mais elles entraînent en outre des frais énormes, puisque les surfaces nécessaires pour l'irrigation ou pour l'établissement des lits bactériens sont au moins dix fois plus considérables.

C'est ainsi, par exemple que, si la ville de Paris eût été dotée d'un système d'égouts *séparatif* au lieu du système *unitaire*, elle ne produirait certainement pas plus de 200 000 mètres cubes d'eaux vannes par jour, et ce volume pourrait être facilement épuré par une surface de lits bactériens à double contact de 40 hectares.

L'apport des eaux d'arrosage aux égouts double ce chiffre en temps sec et les eaux pluviales le décuplent quelquefois. Or, comme les champs d'épandage ne sont établis que pour épurer au maximum 400 000 mètres cubes par jour, il en résulte que tout l'excédent est rejeté en Seine sans aucune épuration.

Beaucoup d'autres grandes villes présentent une situation aussi fâcheuse et il est impossible d'y remédier par un remaniement du système de canalisations d'égouts.

On est donc obligé de chercher à atténuer le mal et il n'est pas douteux que l'adoption des procédés d'épuration biologique s'y prête mieux que l'irrigation agricole.

Lorsque la station d'épuration biologique à construire devra recevoir des eaux vannes et pluviales mélangées, on prendra soin tout d'abord de multiplier suffisamment les chambres à sable ou d'augmenter leur capacité pour retenir tous les détritus minéraux provenant du lavage des rues. Il faut éviter en effet que ces matières imputrescibles puissent arriver jusqu'aux fosses septiques dont elles ne tarderaient pas à diminuer la capacité volumétrique.

On établira, en outre, au sortir des chambres à sable et avant l'entrée aux fosses septiques, un déversoir qui permettra de diriger sur des *lits bactériens d'orage* toute la quantité d'eau qui arrive en plus du volume normal que doivent recevoir les fosses septiques et les lits bactériens (*fig.* 15).

Les lits d'orage seront construits comme les lits bactériens, mais plus économiquement, avec des scories brutes, non

triées. L'eau se déversera à leur surface et les traversera sans y séjourner. Elle s'y débarrassera des matières organiques en suspension.

Ces lits doivent être considérés, en somme, comme de simples filtres à très grand débit, capables seulement de réaliser un dégrossissage. Il n'est d'ailleurs pas nécessaire que les eaux pluviales soient épurées d'une manière plus complète, alors même qu'elles seraient mélangées à une certaine proportion d'eaux d'égout, car on admet que lorsque les eaux d'égout sont diluées dans quatre fois leur volume d'eaux de pluie, on peut sans inconvénients tolérer leur déversement dans les rivières.

A plus forte raison ce déversement peut-il être effectué, si l'on prend le soin de filtrer les eaux pluviales à travers une couche de scories.

Dans une station d'épuration convenablement établie pour le traitement des eaux de tout à l'égout unitaire, on devra donc toujours aménager un ou deux lits *d'orage* d'une surface au moins égale à la moitié de celle occupée par les lits bactériens de double contact.

CHAPITRE X

CONCLUSIONS

Différents aspects du problème de l'épuration des eaux d'égout dans les agglomérations urbaines. — Procédés de choix suivant les circonstances locales.

Il apparaît évident à quiconque réfléchit aux avantages et aux inconvénients que comportent les différents procédés ou systèmes d'épuration actuellement connus, que les municipalités, les ingénieurs et les autorités sanitaires doivent être le plus souvent très embarrassés pour faire un choix.

Notre expérience du sujet nous autorise à leur donner quelques conseils que nous espérons pouvoir leur être utiles dans ce but.

Avant d'établir un projet ou un plan d'épuration, la première précaution à prendre est de bien connaître la composition chimique moyenne des eaux qu'il s'agit de traiter; car si ces eaux renferment une forte proportion de certaines substances à réaction acide ou des antiseptiques, ou un excès d'alcalis, il sera tout à fait impossible de les épurer par l'un quelconque des procédés biologiques ou par l'irrigation agricole. On se trouvera alors nécessairement amené à neutraliser préalablement les acides ou les alcalis ou à précipiter les antiseptiques par des réactifs convenablement choisis. La question se posera ensuite de savoir si, après cette neutralisation, le liquide peut être déversé sans inconvénients sur le sol cultivé ou sur des lits bactériens.

Pour éviter les expériences toujours coûteuses et les erreurs difficilement réparables, il sera prudent de consulter à la fois un ingénieur et un hygiéniste bactériologiste, spécialisés dans

l'étude de ces questions. On les priera d'examiner les plans élaborés, d'en contrôler l'exécution et de surveiller les débuts du fonctionnement du procédé adopté.

Le choix d'un système d'épuration ne pourra dans tous les cas être utilement effectué que lorsqu'on aura déterminé :

1° La nature et la composition chimique des eaux à épurer;

2° La quantité de ces eaux à traiter par jour ;

3° Les variations journalières et saisonnières de volume ;

4° La disposition des canaux d'égout (unitaires ou séparatifs) ; leur développement, leur pente ;

5° La disposition du lieu où s'effectuera l'épuration (hauteur de chute, nature et étendue du terrain) ;

6° Le point de déversement des eaux épurées (utilisation possible de celles-ci à l'irrigation culturale, rejet dans des cours d'eau ou à la mer) ;

7° Enfin, dans les cas où les eaux épurées devraient être déversées dans un cours d'eau, on indiquera le régime de ce dernier et on précisera si les eaux servent à l'alimentation de localités situées en aval ou s'il existe des parcs à huîtres voisins, susceptibles d'être contaminés par les microbes pathogènes provenant des égouts.

Les procédés d'*épuration chimique* seront préférés toutes les fois qu'on aura affaire à des eaux contenant, soit des matières tinctoriales ou des graisses en forte proportion, soit des résidus industriels acides ou alcalins capables de gêner les actions microbiennes d'oxydation.

L'*irrigation agricole*, dont les effets épurants sont incontestablement plus parfaits, n'est recommandable que dans les cas très rares où l'on dispose, à proximité des villes, de terrains d'une grande perméabilité, peu coûteux et suffisamment vastes pour qu'on ne soit jamais obligé de faire absorber au sol cultivé des quantités d'eaux d'égout susceptibles de nuire à la culture.

En principe, on n'admettra jamais en irrigation culturale plus de 3 litres d'eau par mètre carré et par jour et sous la réserve que ces eaux ne renfermeront pas plus de 300 grammes d'azote organique et 10 grammes de graisses par mètre cube. On s'assurera, en outre, que les infiltrations souterraines ne pourront jamais contaminer des nappes d'eau servant à l'ali-

mentation de sources ou de puits dans un rayon de plusieurs kilomètres alentour.

L'*épandage intensif sur sol nu* sera avantageusement employé par les villes dans le voisinage immédiat desquelles se trouvent des plaines sablonneuses non cultivables. Les déversements intermittents d'eau d'égout sur ces plaines divisées en compartiments ou bassins alternativement irrigués, peuvent alors être effectués à la dose de 40 litres par mètre carré et par jour, mais c'est là un maximum qu'il ne faudra pas dépasser. En réduisant ce taux d'irrigation intermittente à 20 litres, il sera le plus souvent possible d'utiliser bientôt les sables ainsi fertilisés à la culture du maïs fourrager ou du topinambour, ou mieux encore à l'établissement d'oseraies.

Dans toutes les circonstances où l'on serait conduit à adopter, soit l'irrigation agricole, soit l'épandage intensif sur terrains sablonneux avec ou sans les cultures sus-indiquées, il conviendra de solubiliser préalablement les matières organiques contenues dans les eaux d'égout en faisant séjourner celles-ci pendant 24 heures dans des *fosses septiques*.

L'épuration par le sol s'effectuera alors dans des conditions parfaites, et on évitera tout colmatage par la suppression des boues. On réalisera du même coup une importante économie de main-d'œuvre qui compensera largement les frais de construction des fosses.

Chaque fois que l'un des systèmes d'épuration qui précèdent ne s'imposera pas pour les raisons très spéciales que nous avons indiquées, on devra s'adresser de préférence aux *procédés biologiques*, parce qu'ils présentent le maximum d'efficacité avec le minimum de dépenses.

Les procédés biologiques conviennent à merveille dans tous les cas où il s'agit de traiter des eaux de tout à l'égout de faible ou de moyenne concentration et contenant des matières de vidange.

Lorsqu'on aura à épurer de très grands volumes d'eau et qu'on n'éprouvera pas trop de difficultés à se procurer les surfaces nécessaires, on adoptera avantageusement la méthode de distribution intermittente sur *lits bactériens à double contact*. Avec cette méthode, aucun mécanisme n'est indis-

pensable, aucun accident n'est à craindre et la marche de l'épuration reste très régulière en toutes saisons.

Ses seuls inconvénients sont :

1° Qu'elle nécessite une hauteur de chute de 2m,50 environ pour les deux contacts, depuis le point de sortie des fosses septiques;

2° Que le taux de l'épuration ne dépasse généralement pas 86 pour 100, et qu'elle fournit un débit maximum de 500 litres par mètre carré de surface et par jour.

Lorsque l'épuration devra porter sur un volume inférieur à 10 000 mètres cubes par jour, il sera la plupart du temps avantageux de recourir aux *filtres bactériens à percolation* avec distributeurs automatiques (*Fiddian*, *Sprinklers*, ou, plus simplement, *siphons à chasses intermittentes*).

Ces appareils peuvent fonctionner d'une manière très satisfaisante avec une hauteur de chute minima de 1m,75 à 2 mètres et leur débit moyen s'élève à environ 1 mètre cube d'eau épurée par mètre carré de surface et par jour, avec un coefficient d'épuration pouvant atteindre 92 pour 100.

Soit que l'on choisisse les lits bactériens à double contact, soit que l'on préfère les filtres à percolation, il est essentiel de solubiliser préalablement et aussi complètement que possible, dans des fosses septiques bien construites, les matières organiques entraînées dans les eaux d'égout. Plus cette solubilisation est parfaite, plus l'épuration finale est satisfaisante.

Dans tous les cas, on ne devra jamais considérer comme potables les eaux épurées par l'un quelconque des systèmes biologiques, pas plus d'ailleurs que celles épurées par les procédés chimiques ou par l'épandage. Ces eaux renferment toujours des microbes en plus ou moins grand nombre et quelques-uns de ceux-ci peuvent accidentellement appartenir à des espèces pathogènes.

S'il arrivait qu'on fût obligé de s'en servir immédiatement ou de les déverser dans un cours d'eau à faible débit servant à l'alimentation d'une ville ou d'un village, ou dans la mer au voisinage de parcs à huîtres, il faudrait réaliser leur purification bactériologique complète, soit par des filtres à sable fin (dont un type très recommandable est le filtre américain à

grand débit *Jewell*), soit par les appareils beaucoup plus efficaces de stérilisation par l'ozone.

Hâtons-nous d'ajouter que la nécessité de cette épuration complémentaire ou de cette *stérilisation* des eaux d'égout épurées ne se présentera probablement nulle part et qu'il serait ridicule d'imposer, sans raisons exceptionnellement graves, aux municipalités, ce luxe inutile et onéreux ! La seule chose qu'on soit en droit d'exiger légitimement des villes est qu'elles rendent aux rivières ou aux fleuves des eaux *dont le degré de pollution ne soit pas sensiblement plus élevé que celles qu'elles leur ont elles-mêmes empruntées.*

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES PLANCHES ET FIGURES

PLANCHES

FIGURES

GRAPHIQUES

55898. — PARIS. IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE
9, rue de Fleurus, 9.

RECHERCHES

SUR

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE DES EAUX D'ÉGOUT

MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

CAISSE NATIONALE DES RECHERCHES SCIENTIFIQUES

RECHERCHES

SUR

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE
DES EAUX D'ÉGOUT

EFFECTUÉES A L'INSTITUT PASTEUR DE LILLE

ET A LA STATION EXPÉRIMENTALE DE LA MADELEINE

PAR

LE Dr A. CALMETTE
Membre correspondant de l'Institut et de l'Académie de Médecine

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

E. ROLANTS
Chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille

E. BOULLANGER
Chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille

F. CONSTANT
Préparateur à l'Institut Pasteur de Lille

L. MASSOL
Préparateur à l'Institut Pasteur de Lille

DEUXIÈME VOLUME

PARIS
MASSON ET Cie, ÉDITEURS
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1907

INTRODUCTION

Depuis la publication du premier volume de nos *Recherches sur l'épuration biologique et chimique des eaux d'égout*, un grand nombre de municipalités, d'ingénieurs, d'architectes et d'industriels nous ont prié de leur venir en aide, soit pour l'établissement de projets d'assainissement, soit pour le choix du système d'épuration le plus capable de répondre à leurs besoins particuliers.

Il apparaît donc que, malgré les regrettables lacunes de la loi française du 15 février 1902 sur l'hygiène publique, en ce qui concerne les déversements de matières susceptibles de polluer ou de contaminer les cours d'eau, chacun commence à comprendre qu'il est impossible de tolérer plus longtemps les dommages qu'entraîne à la fois, pour la richesse agricole et pour la salubrité de notre pays, le rejet dans les rivières des déchets de la vie et des industries humaines.

La plupart de nos villes, particulièrement celles de la région du Nord de la France, présentent à cet égard une situation exceptionnellement grave. Plusieurs d'entre elles, Roubaix et Tourcoing par exemple, ont dépensé des sommes considérables sans aboutir à des résultats satisfaisants. L'échec de leurs efforts devait nécessairement servir d'excuse à toutes les autres qui, ne se souciant pas de faire des expériences onéreuses, préfèrent attendre que la science sanitaire ait réalisé de plus grands progrès.

Or, il semble qu'à présent nous sommes mieux en mesure

de préciser les conditions dans lesquelles, suivant les circonstances locales, il convient de se placer pour traiter efficacement les eaux d'égout.

De très importants travaux ont été entrepris au cours de ces dernières années en Amérique, en Angleterre, en Allemagne et en France pour résoudre ce problème. Les principes scientifiques qu'ils ont établis ont subi victorieusement l'épreuve de multiples applications, dont quelques-unes datent d'assez longtemps pour qu'on n'ait pas à redouter de mécomptes. L'heure est donc venue d'en tirer les conséquences pratiques qu'ils comportent, et si les villes, principales intéressées dans la question, ne comprennent pas qu'elles ont le devoir d'empêcher la pollution des rivières ou des nappes souterraines, il appartient à l'État de leur en imposer l'obligation sous une forme plus impérative que celle de la loi du 15 avril 1829, et du décret du 5 septembre 1897 sur la pêche fluviale, seules bases fragiles sur lesquelles s'appuient actuellement tous les arrêtés relatifs à la protection des cours d'eau.

Il est incontestable que, — sauf de rares exceptions, — les égouts des villes sont, de beaucoup, les plus importants facteurs de contamination des rivières. Les résidus qu'y déversent les industries *isolées* dans les campagnes, n'interviennent que pour une proportion infiniment moindre.

Si la Deûle, par exemple, ne recevait pas chaque jour les 20 000 mètres cubes d'eau d'égout que lui envoie la ville de Lille, auxquels s'ajoutent les égouts et les détritus de ses populeux faubourgs, elle ne serait plus le cloaque infâme et empesté que connaissent les Lillois!

Lorsque les villes donnent de pareils exemples, comment pourrions-nous espérer que les industriels aient l'abnégation de s'imposer, pour épurer leurs résidus, des frais dont l'inutilité leur apparaît flagrante?

Les tribunaux eux-mêmes ne peuvent guère leur donner tort, s'ils veulent éviter que leurs jugements ressemblent à celui du Lion des *Animaux malades de la peste*! Aussi bien, ils ne pourraient appuyer leurs condamnations que sur les textes

qui visent exclusivement la protection du poisson et non la santé publique. Et qui oserait prétendre de bonne foi que la conservation du poisson intéresse les riverains de la Deûle où, de mémoire d'homme peut-être, aucun goujon n'a eu la fatale idée de s'aventurer !

Nous sommes donc en assez mauvaise posture, en l'état actuel des choses, pour imposer aux industriels l'obligation de respecter l'*impureté* de nos rivières. La situation ne changera que le jour où les pouvoirs publics interdiront à quiconque, agglomérations urbaines ou particuliers, de *jeter et de laisser écouler dans les cours d'eau soit des eaux d'égout, soit des résidus industriels, soit des substances susceptibles de porter atteinte à la salubrité ou de nuire à la reproduction ainsi qu'à la conservation du poisson.*

Cette interdiction n'est possible que s'il est démontré qu'il existe des procédés d'épuration pratiquement applicables dans toutes les circonstances usuelles, suffisamment efficaces et assez peu coûteux pour ne point entraîner des dépenses hors de proportion avec le but à atteindre.

En poursuivant nos expériences, grâce aux subsides qui nous sont généreusement accordés par la Caisse nationale des recherches scientifiques, nous avons pensé que notre premier devoir était de mettre les *villes* en mesure d'épurer leurs eaux d'égout, tout en nous réservant d'aborder ensuite l'étude des procédés susceptibles de convenir aux eaux résiduaires des principales industries.

L'épuration par le sol en irrigation culturale étant inapplicable dans la plupart des cas, par suite de l'absence ou de l'éloignement de terrains appropriés ou pour d'autres causes, et les nouveaux procédés d'épuration biologique, expérimentés déjà sur une vaste échelle en Angleterre, paraissant donner des résultats encourageants, nous avons pensé faire œuvre utile en nous attachant surtout à l'étude de ces derniers. Nous croyons avoir réussi à rendre leur application vraiment pratique, simple et peu onéreuse, grâce à la suppression de toute espèce de mécanisme exigeant soit de la

main d'œuvre, soit une surveillance délicate, soit des dépenses d'entretien.

Nous ne reviendrons pas, dans ce second volume, sur la description du système d'épuration biologique par *lits de contact*, non plus que sur la théorie de l'épuration. Nous supposons désormais celle-ci connue du lecteur. Et pour permettre à chacun de trouver plus facilement ici les renseignements qui l'intéressent, nous renvoyons en appendice tous les tableaux qui résument nos résultats d'analyses.

RECHERCHES

SUR

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE

DES EAUX D'ÉGOUT

CHAPITRE PREMIER

LA STATION EXPÉRIMENTALE DE LA MADELEINE
MODIFICATIONS APPORTÉES EN VUE DE L'ÉTUDE DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE PAR LITS BACTÉRIENS PERCOLATEURS

Lorsque nous avons expérimenté les différents systèmes imaginés en Angleterre pour distribuer automatiquement, et par intermittences, l'eau d'égout à la surface des lits bactériens non immergés, nous n'avons pas tardé à nous convaincre qu'ils sont susceptibles de fournir à la fois une épuration plus parfaite et des rendements beaucoup plus considérables pour une même surface que les *lits de contact* à immersion totale intermittente [1].

Rappelons tout d'abord que ces dispositifs de distribution automatique peuvent se ramener à cinq types différents :

1° Les pulvérisateurs à pression (*Chesterfield*, *Salford*, *Birmingham*) ;

2° Les tourniquets hydrauliques ou sprinklers, employés dans un grand nombre de villes anglaises (système de *Candy-Wittaker-Bryant*, *d'Adams*, de *Mather and Platt*) ;

3° Les nochères à renversement fixes de *Ducat*, ou rotatives de *Fiddian* ;

4° Les gouttières perforées à égouttage direct, de *Stoddart* ;

5° Les siphons à décharge intermittente, que nous avons

[1] Voir le premier volume de nos *Recherches*, chap. VII, p. 133 et suivantes

préconisés et qu'on peut voir fonctionner à la station expérimentale de *la Madeleine*.

Ce dernier système plus simple, plus robuste et plus économique que tous les autres, nous ayant donné, dans une installation d'essai, des résultats très satisfaisants, nous avons décidé, en octobre 1905, de transformer la moitié de la surface totale de nos lits de contact en un lit percolateur unique, de 400 mètres carrés, alimenté par 6 siphons.

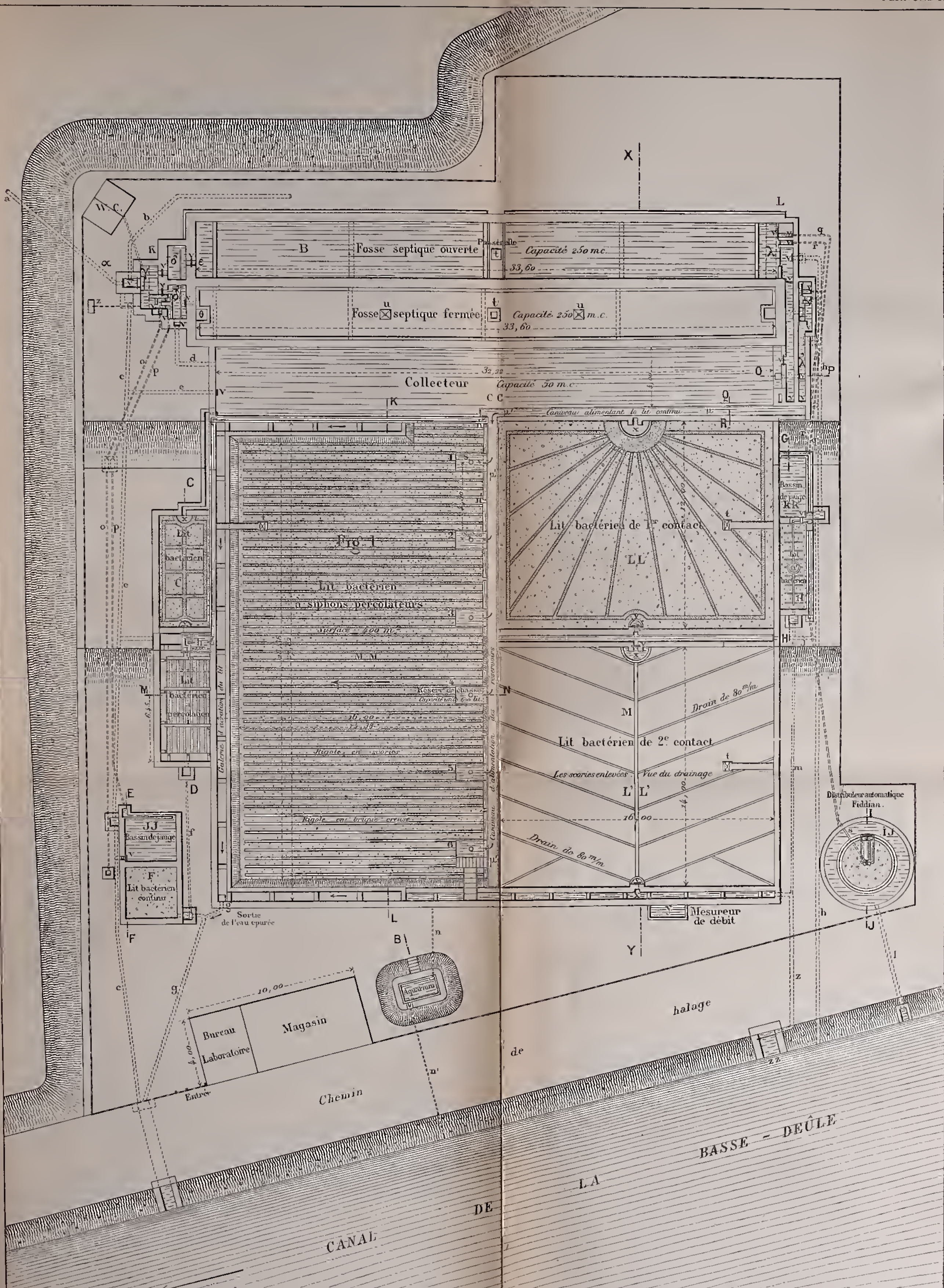
Pendant l'année 1906, les dispositifs d'expériences que nous avons adoptés nous permettaient donc d'étudier comparativement l'épuration par les lits intermittents de contact et l'épuration par les lits percolateurs. Sur deux lits intermittents, l'un de premier, l'autre de second contact, nous pouvions traiter en un, deux ou trois contacts par 24 heures, 60, 120 ou 180 mètres cubes d'eau sortant de nos fosses septiques et, sur le lit percolateur, une quantité de cette même eau pouvant aller jusqu'à 400 *mètres cubes*, soit *un mètre cube par mètre carré de surface*.

Le plan général de notre installation ainsi modifiée comportait (voir *planche* I) :

En α l'arrivée de l'eau *brute* provenant de l'égout collecteur de la Madeleine, à travers un diaphragme régulateur de débits ;

En γ, après passage à travers une grille en tiges de fer espacées de $0^m,06$ centimètres (destinée à retenir les corps flottants volumineux), le flot est divisé par un déversoir en tôle en *cinq lames* d'égal débit. L'une de ces lames est divisée à son tour en deux autres lames débitant respectivement 9/10 et 1/10. Cette dernière permet de diriger par o vers le bassin de jauge *JJ* exactement un *cinquantième* du débit total de l'égout en 24 heures. Ce bassin de jauge sert au prélèvement quotidien des échantillons d'eau brute destinés aux analyses. Les 49/50 restants du débit des 5 lames du déversoir passent par moitié dans les deux *fosses à sable* ou *bassins de dégrossissage* δ et δ', où le courant se brise devant une chicane à ouverture latérale et dépose tous les corps lourds (sables, graviers, scories, débris métalliques) entraînés par le flot d'eau d'égout.

Par ε l'eau ainsi grossièrement décantée en δ entre dans une fosse septique ouverte à l'air libre, de 250 mètres cubes de



E. Morieu .Gr. Lith. Dufrénoy, Paris.

PLAN DE LA STATION EXPÉRIMENTALE DE LA MADELEINE-LEZ-LILLE.

A. — *Lits bactériens en état de fonctionnement.*
B. — *Fosses septiques.*
C. — *Petit lit bactérien d'expériences.*
D. — *Lit bactérien à sable.*
JJ. — *Bassin de jauge pour le prélèvement des échantillons moyens d'eau brute.*
F. — *Lit bactérien continu pour expériences avec l'eau brute.*
KK. — *Bassin de jauge pour le prélèvement des échantillons moyens d'eau sortant des fosses septiques.*
I. — *Lit bactérien percolateur à siphon de chasse automatique.*
IJ. — *Distributeur automatique de Fiddian sur lit bactérien circulaire.*
γ. — *Déversoirs à lames réglables pour l'eau d'égout avant l'entrée en fosses septiques.*
λλ'. — *Déversoirs de sortie des fosses septiques (à lames réglables).*
M. — *Fouille de lit bactérien montrant la disposition du drainage (lit de contact).*
S. — *Chambres à sable.*
a. — *Dérivation de l'égout collecteur de la Madeleine allant aux fosses septiques.*
b. — *Dérivation vers les bassins d'épuration chimique.*
c. — *Dérivation de trop plein allant au canal de la Basse Deûle.*
d. — *Dérivation permettant de conduire l'eau brute directement au bassin collecteur.*
e. — *Dérivation de trop plein du collecteur vers le canal.*
g. — *Sortie de l'eau épurée par le lit bactérien percolateur à la Deûle.*
h. — *Évacuation à la Deûle du trop plein des fosses septiques.*
j. — *Évacuation à la Deûle de l'eau épurée par les lits de premier contact et de l'eau épurée par le lit bactérien à siphon de chasse automatique II (lit d'expériences).*
m z. — *Évacuation à la Deûle de l'eau épurée par les lits de premier et de deuxième contact.*
l. — *Évacuation à la Deûle de l'eau épurée par le distributeur automatique Fiddian.*
n. — *Dérivation d'eau épurée vers l'aquarium.*
n'. — *Trop plein de l'aquarium.*
μ r'. — *Conduite amenant l'eau brute au lit bactérien continu.*
p. — *Conduite amenant l'eau brute au bassin de jauge.*
q. — *Conduite amenant l'eau des fosses septiques au lit petit bactérien à siphon percolateur II.*
r. — *Conduite amenant l'eau des fosses septiques au bassin de jauge.*
s. — *Conduite amenant l'eau des fosses septiques au distributeur rotatif Fiddian.*
t. — *Thermomètres enregistreurs plongeant dans les fosses septiques et dans les lits bactériens.*
u. — *Cheminées servant à l'échappement des gaz de la fosse septique fermée.*
v. — *Vannes.*
x. — *Déversoirs en éventails pour étaler l'eau à la surface des lits bactériens.*

capacité et de $2^m,85$ de profondeur utile, sur $15^m,57$ de longueur.

Par θ l'eau grossièrement décantée en δ' entre dans une fosse septique de mêmes dimensions et de même capacité que la précédente, mais munie, sur toute son étendue, d'une couverture en voûtes de briques supportée par des linteaux de fer. Cette voûte est pourvue à chacune de ses extrémités d'un trou d'homme; vers le milieu, de deux cheminées *uu* pour l'évacuation des gaz, et au centre d'un thermomètre enregistreur plongeant à deux mètres de profondeur, *t*.

Un thermomètre semblable est installé au centre de la fosse septique ouverte, sur une passerelle en ciment armé.

Les deux fosses septiques, représentées en coupe longitudinale sur la figure 2, sont pourvues de cloisons incomplètes ou *chicanes*, au nombre de cinq (*deux* partant de $0^m,60$ au-dessus du fond et s'élevant jusqu'à deux mètres; et *trois* partant de $1^m,40$ au-dessus du fond et s'élevant jusqu'à $0^m,10$ au-dessus du niveau du liquide.

L'ensemble des deux fosses peut recevoir, suivant l'ouverture réglable à volonté du diaphragme d'entrée, de 500 à 800 mètres cubes d'eau brute par 24 heures.

Elles restent constamment pleines et, au fur et à mesure qu'un volume quelconque d'eau y pénètre par ε ou par θ, un volume d'eau égal, débarrassé de matières en suspension et ayant subi la fermentation anaérobie *septique*, sort par les déversoirs λ de la fosse *ouverte* ou λ' de la fosse *couverte* (*planche I*).

Immédiatement avant le déversoir de la fosse *ouverte*, on a disposé, sur une profondeur de 1 mètre, un filtre constitué par de grosses scories entassées sur un support en fonte perforée. Ce filtre empêche complètement la sortie de particules un peu volumineuses en suspension, qui viendraient à être entraînées hors de la fosse septique si le passage des liquides s'y effectuait avec trop de rapidité ou de violence (*fig.* 2, F).

Les déversoirs de sortie de chaque fosse septique sont divisés chacun en deux lames évacuant respectivement 1/50 et 49/50 du débit de la fosse. Le 1/50 peut être, à volonté, dirigé par la conduite *r* vers le bassin de jauge *KK*, qui permet ainsi de faire des prises régulières d'échantillons moyens pour analyses.

Les figures 2 et 3 indiquent en coupe transversale, suivant *X X'*, la disposition respective des deux fosses septiques, du bassin collecteur et des deux lits bactériens de premier et de second contact. Nous prions le lecteur de s'y reporter.

B. **Lit percolateur.** — En MM nous avons construit un vaste lit de scories de 400 mètres carrés de surface sur $1^m,58$ d'épaisseur, dont trois côtés sont en talus supportés à leur base par un mur ajouré en briques, de 1 mètre de hauteur. Le quatrième côté est constitué par un mur plein, haut de $1^m,55$, formant le canal d'amenée de l'eau à épurer provenant des fosses septiques. (Voir *planche I, fig.* 1, *en plan* et *fig.* 2, *suivant KL* et *MN en coupe.*)

Le fond du lit, en pente légère de $0^m,005$ millimètres par mètre dans le sens indiqué par la flèche, repose sur une *sole* en béton imperméable. Nous y avons disposé, sur toute la moitié gauche, une rangée parallèle de drains écartés l'un de l'autre de deux mètres et formés de tuiles faîtières renversées, c'est-à-dire tournant leur concavité vers la terre. La moitié droite ne porte aucun drainage.

Sur les drains on a entassé d'abord, sur $0^m,20$ d'épaisseur, de grosses scories triées et, au-dessus de celles-ci, jusqu'à la surface, des scories dites de *tout-venant*, simplement criblées pour les débarrasser des poussières.

La surface a été creusée de longues rigoles parallèles sur toute la largeur du lit ($14^m,58$), avec une pente d'environ 5 millimètres par mètre, dans le sens de la flèche (*planche I, fig.* 1). Chacune de ces rigoles correspond, à droite, à une fente des nochères de distribution *nn'* qui reçoivent directement le liquide évacué des bacs ou réservoirs (1, 2, 3, 4, 5 et 6) par les siphons de chasses automatiques et intermittentes.

Siphons de chasse. — Les siphons de chasse que nous avons installés dans nos six réservoirs-distributeurs sont du type *Doulton* qui est employé depuis de longues années pour les chasses automatiques et intermittentes des canalisations d'égout ou des water-closets. Mais, pour leur donner des dimensions aussi réduites que possible *en hauteur* sans diminuer leur débit, nous avons dû les faire construire tout exprès. La figure 4 indique très clairement les dispositions qu'ils présentent.

L'eau à épurer, sortant des fosses septiques, arrive par le canal $\mu\mu'$; elle est introduite par une vanne à débit réglable *V* dans les réservoirs 1, 2, 3, 4, 5 et 6, construits en tôle et dont la capacité est de 600 litres. (La figure 4 représente le réservoir 1).

Lorsqu'un de ces réservoirs est plein, le siphon S s'amorce automatiquement et, en un laps de temps qui n'excède pas 30 secondes, tout le contenu du réservoir s'échappe brusquement par *C* et se répand dans la nochère distributrice *D* qui

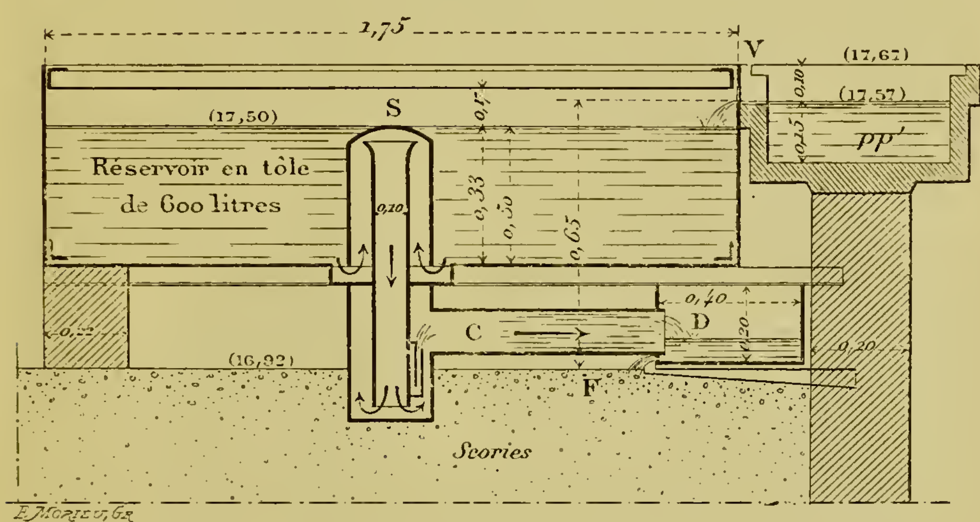


Fig. 4. — Siphon de chasse intermittente, adopté à la Madeleine (Type Doulton).

munie de fentes latérales *F* correspondant chacune à une rigole de la surface du lit bactérien, permet l'écoulement rapide de l'eau dans celles-ci.

Le fonctionnement des siphons est réglé de telle sorte que chaque réservoir met *au moins* dix minutes à se remplir et, *au plus*, 30 secondes à évacuer son contenu sur la portion de lit bactérien qu'il doit desservir. Nous obtenons ainsi des alternances parfaitement régulières de mouillage et d'aération des scories, et l'expérience nous a montré qu'il fallait donner aux périodes d'aération une durée minima dix fois plus longue qu'aux périodes de mouillage. L'eau trouve alors le temps de s'infiltrer dans toute la masse des scories, entraînant avec elle une grande quantité d'air indispensable à l'accomplissement des fonctions des microbes nitrificateurs.

Mécanisme de l'épuration dans le lit bactérien percolateur. — Nous avons dit que notre lit bactérien percolateur avait une surface de 400 mètres carrés. Il est desservi par six réservoirs de chasse capables d'évacuer chacun 600 litres d'eau à épurer par chasse. Chaque réservoir alimente une nochère distributrice qui déverse l'eau dans 9 rigoles de 14 mètres de longueur, couvrant ensemble 1/6 de toute la surface du lit (*fig.* 5 et 6).

L'ensemble des 9 rigoles reçoit donc à chaque chasse 600 litres d'eau en 50 secondes environ, soit, pour chaque rigole, à peu près 85 litres d'eau.

Si les chasses se répètent toutes les dix minutes, les six réservoirs se videront 6 fois par jour et déverseront chacun 5^{mc} à l'heure; soit, en tout, 21^{mc},600 à l'heure et, par vingt-quatre heures, 518^{mc},400.

Ce chiffre indique le maximum de leur puissance de débit. Mais, en fait, ce maximum n'est jamais atteint, parce que le volume d'eau apporté par l'égout diminue considérablement à certaines heures du jour et pendant la nuit, de sorte que si, parfois, les chasses se produisent toutes les dix minutes, d'autres fois elles se raréfient et n'ont plus lieu que toutes les 20 minutes ou même toutes les demi-heures.

Lorsque le flot d'eau d'égout sortant des fosses septiques dépasse le volume de 400^{mc} par vingt-quatre heures, nous avons ménagé un dispositif qui nous permet de déverser directement tout l'excédent non épuré à la rivière.

On comprend tout de suite que le mécanisme de l'épuration sur ce lit bactérien percolateur doive être très différent de celui de l'épuration sur les lits de contact.

Ici, pendant chaque période de mouillage, le liquide s'infiltre peu à peu dans toute la masse des scories qui fixent, *comme par un phénomène de teinture*, la matière organique dissoute. Ensuite, au fur et à mesure que le liquide s'égoutte et que l'air, appelé par lui, pénètre à l'intérieur du lit, les microbes qui peuplent les anfractuosités des scories oxydent et nitrifient la matière organique fixée. Cette dernière est entraînée à l'état de nitrates solubles par la vague d'eau suivante qui se charge de ces nitrates en même temps qu'elle se débarrasse de sa matière organique que les scories sont



Fig. 5. — Lit percolateur de la Madeleine alimenté par réservoirs de chasses automatiques.
(Le réservoir n° 2 est en train de se vider.)

redevenues aptes à fixer. Et ainsi de suite, chaque alternance de mouillage et d'aération produit la répétition des mêmes phénomènes.

L'eau d'égouttage, parvenue sur la *sole* du lit, s'écoule au dehors par les drains et par toutes les ouvertures dont le mur de soutènement du lit est percé à sa base. Cette eau se collecte dans une rigole qui l'évacue, définitivement épurée, à la rivière, en traversant au préalable un bac d'échantillonnage (*g*, *planche I*).

*
* *

Dans les *lits de contact*, nous avons vu que l'eau à épurer baigne entièrement toute la masse des scories du premier lit pendant deux heures, puis pendant deux heures encore celles du second lit. La fixation des matières organiques s'effectue sur les scories durant les périodes d'*immersion totale* et la nitrification n'a lieu qu'à partir du moment où chaque lit se vide et où l'oxygène de l'air le pénètre. Les nitrates formés se dissolvent ensuite lors d'une nouvelle période d'immersion.

Les mêmes phénomènes interviennent, somme toute, dans le fonctionnement de ces lits de contact, mais ils se succèdent à des intervalles beaucoup plus éloignés. D'autre part, la longue durée relative des périodes d'immersion (deux heures), est préjudiciable à la multiplication rapide des microbes nitrificateurs, qui sont essentiellement *aérobies*. Et il arrive parfois qu'une flore de microbes *dénitrifiants anaérobies* pullule dans les couches profondes, décomposant les nitrates au fur et à mesure de leur formation ou de leur dissolution, de sorte que l'eau, quoique épurée, n'en renferme presque plus.

D'autre part, l'immersion totale présente cet inconvénient grave qu'une proportion importante du liquide chargé de matières organiques s'accumule dans les drains ou dans les interstices des scories, sans parvenir au contact de celles-ci. Il en résulte que le coefficient final de l'épuration se trouve notablement diminué.

Dans le *lit percolateur*, rien de semblable ne peut exister. Les scories n'étant jamais noyées dans le liquide, les microbes aérobies y pullulent avec toute l'énergie dont ils sont capables, et l'*écoulement intermittent de l'eau par égouttage* assure la

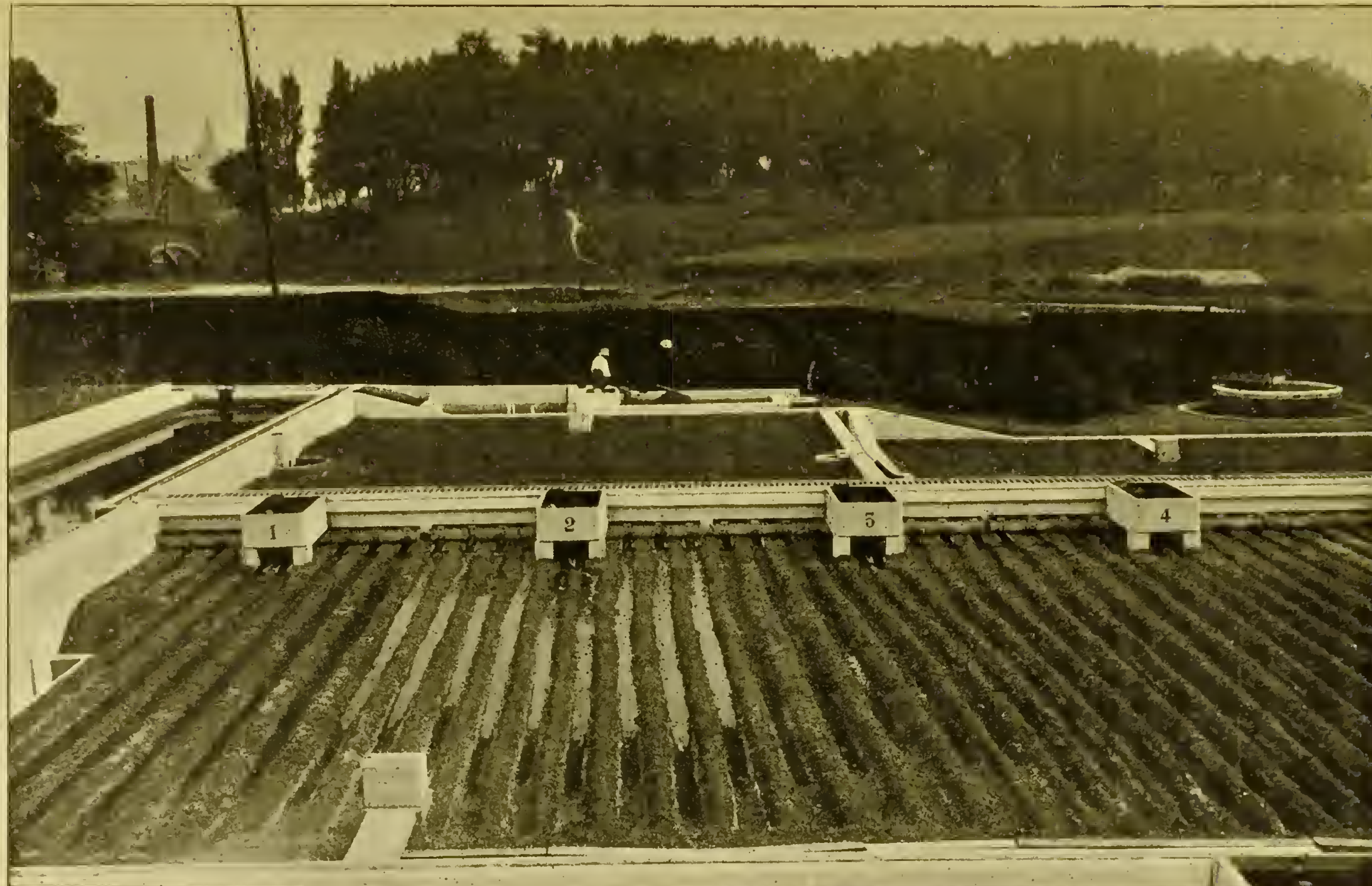


Fig. 6. — Lit percolateur de la Madeleine. (Vue générale des six réservoirs de chasse.)

fixation aussi complète que possible de toute la matière organique dissoute que chaque molécule d'eau a apportée.

Colmatage. — Le colmatage de la surface des lits n'est d'ailleurs pas plus à redouter avec l'un qu'avec l'autre système, si l'eau qu'on y admet est bien débarrassée, par fermentation anaérobie en fosse septique, de toutes les particules en suspension que renfermait l'eau d'égout brute.

L'expérience de la Madeleine nous a montré qu'il est seulement utile de ratisser légèrement le creux des rigoles de distribution environ une fois tous les trois mois. Cette opération a pour but d'assurer la perméabilité des couches superficielles de scories que l'entraînement de petites quantités de graisses (surtout celles de nature minérale, huiles de machines, etc.) finit toujours par agglutiner quelque peu.

Influence du froid. — Nous avons également pu nous convaincre que les saisons n'avaient guère d'influence sur la marche de l'épuration sur notre lit percolateur. Tout au plus, par les plus grands froids de nos hivers septentrionaux, la marche de la nitrification est-elle un peu moins active que pendant l'été. Outre que l'eau d'égout fermentée en fosse septique garde toujours une température assez élevée (de $+20°$ à $+16°$, rarement au-dessous), les alternances très rapprochées de mouillage des scories avec cette eau tiède empêchent complètement le gel de se produire, et conservent aux ferments nitrificateurs une vitalité suffisante.

*
* *

Modifications apportées au mode de distribution de l'eau à la surface du lit percolateur. — Tout en poursuivant nos expériences sur le lit bactérien percolateur que nous venons de décrire, nous avons étudié et essayé sur de petits lits bactériens annexes, de quelques mètres carrés de surface, la plupart des mécanismes distributeurs dont les ingénieurs sanitaires ont proposé l'emploi depuis que l'épuration biologique des eaux d'égout est à l'ordre du jour.

Parmi les appareils anglais que nous avons déjà décrits dans le chapitre VII de notre précédent volume, le seul qui

nous paraisse mériter d'être retenu est le distributeur de *Fiddian* qui présente, sur les différents modèles de tourniquets hydrauliques ou *sprinklers*, l'avantage de ne pas être influencé par les vents et de n'avoir point d'orifices susceptibles de s'obstruer.

Celui que nous avons installé à la Madeleine a fonctionné sans interruption depuis quinze mois et les résultats qu'il fournit sont très satisfaisants. Nous lui reprocherons seulement de nécessiter une surveillance suivie pour éviter que des corps étrangers viennent se déposer sur le rail circulaire qui supporte les galets de rotation. Il suffit d'une feuille morte ou, en hiver, d'un peu de neige, pour arrêter la marche de l'appareil.

Aussi, malgré son ingéniosité et son aspect presque élégant, qui peuvent le recommander pour de petites installations urbaines ou industrielles, nous n'hésitons pas à lui préférer le système plus simple et plus robuste des siphons de chasses automatiques et intermittentes.

Siphons de chasses (système Parenty). — Outre le siphon de chasse du type *Doulton* modifié que nous avons décrit et adapté à notre lit percolateur de 400 mètres carrés de surface, nous avons pu, grâce à la grande obligeance de *M. Parenty*, directeur de la manufacture nationale des tabacs de Lille, expérimenter un autre siphon dont il est l'inventeur, qui présente le très grand avantage de n'exiger qu'une dénivellation de quelques centimètres entre le niveau supérieur du réservoir de chasse et la surface du lit bactérien.

C'est un siphon à deux larges branches d'égale longueur, dont l'une plonge dans le réservoir de chasse et l'autre dans un seau actionné par un double contrepoids et qui s'abaisse brusquement dès que la hauteur d'eau dans le réservoir est un peu plus que suffisante pour faire équilibre au contrepoids (*fig.* 7).

La vidange du réservoir s'effectue alors en quelques secondes et le seau se relève par l'effet du contrepoids, aussitôt que la poussée du liquide n'est plus capable de le tenir abaissé.

Le seau restant plein d'eau, le siphon se maintient constamment amorcé.

Pour les grands débits, *M. Parenty* remplace par un simple levier à bascule le double contrepoids suspendu par deux

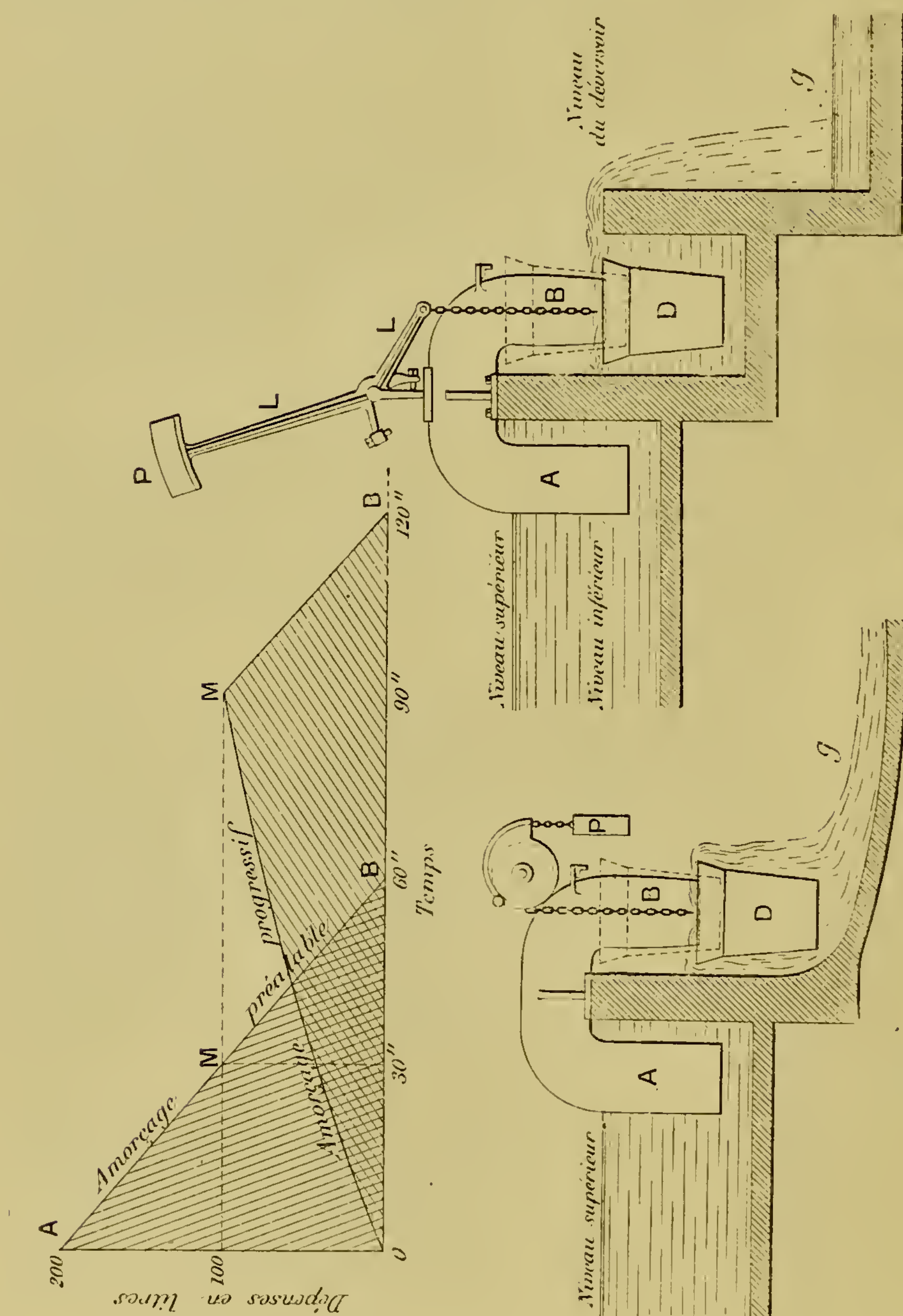


Fig. 7. — Siphon de chasse Parenty

chaînes glissant sur poulies mobiles. C'est ce système plus parfait que nous avons installé dans la station d'épuration de Tourcoing dont on trouvera plus loin la description.

M. Parenty a eu la complaisance de nous remettre une note que nous reproduisons en appendice, *in extenso* (voir page 275).

et qui expose très clairement les principes sur lesquels reposent la construction et le fonctionnement de ces appareils aussi robustes qu'ingénieux.

Substitution des canaux de distribution couverts aux rigoles de déversement. — Nous avons vu plus haut que chacun des six réservoirs de chasse de notre grand lit bactérien percolateur se vide en 50 secondes dans une nochère distributrice qui déverse l'eau à la surface du lit, par neuf ouvertures latérales, dans neuf rigoles de 14 mètres de longueur creusées directement dans la masse des scories.

Ce mode de distribution est extrêmement simple et économique, mais il présente de légers inconvénients : au moment où se produit la chasse du liquide à épurer, une vague de 85 litres d'eau s'engouffre dans la rigole et tend à élargir celle-ci peu à peu à son origine ; elle désagrège en outre les scories, les effrite à la longue, et tasse les particules les plus légères vers l'extrémité la plus éloignée. Il en résulte qu'on est obligé, deux ou trois fois par an, de régulariser la pente des rigoles et d'en remuer le fond au râteau ou à la pelle afin de les rendre accessibles à la vague d'eau et perméables dans toute leur étendue.

Il était donc nécessaire de remédier à cet état de choses et de réduire davantage encore, si c'était possible, la main-d'œuvre.

Avec la collaboration toujours intelligente et dévouée de M. Le Noan, conducteur des ponts et chaussées du service de la navigation à Lille, nous y avons réussi de la manière la plus satisfaisante.

Il nous a suffi de remplacer les rigoles, tracées à ciel ouvert sur le lit de scories, par un simple canal formé de briques creuses alignées bout à bout, sans rejointoiement, dans le sens de leur longueur. Ces briques suivent exactement le trajet des anciennes rigoles, mais elles sont noyées dans les scories, de telle sorte que, seule, leur face supérieure est visible.

Lorsqu'une chasse d'eau se produit, les lames sortant des neuf ouvertures de la nochère distributrice se répandent à l'intérieur du canal de briques creuses et l'eau s'infiltre par chacun des interstices qui séparent celles-ci les unes des

autres. La force du courant se trouve ainsi brisée et les scories ne sont ni effritées, ni refoulées par la vague liquide.

Nous avons d'abord essayé ce système de distribution sur un petit lit séparé de 14 mètres carrés de surface (*fig.* 8). Déjà, au bout de quelques semaines, les résultats se sont montrés si excellents que nous avons décidé de l'appliquer à 1/6 de la surface totale de notre grand lit bactérien percolateur (voir *fig.* 5, partie du lit desservie par le réservoir de chasse n° 6).

Depuis cinq mois qu'il fonctionne, ce dispositif n'a rien laissé à désirer. Nous n'avons pas eu à y toucher; nous croyons donc qu'il permet de supprimer d'une manière presque absolue toute main-d'œuvre, et nous nous proposons d'en généraliser l'adoption. Nous l'avons également installé à Tourcoing.

*
* *

On voit, par ce qui précède, que notre station expérimentale de la Madeleine est maintenant complètement transformée. Les perfectionnements multiples que nous avons pu y introduire nous permettent, non seulement d'épurer un volume d'eau d'égout presque deux fois plus considérable que celui que nous pouvions traiter sur la même surface avec le système des lits de contact, mais encore de réaliser cette épuration en supprimant toute dépense de main-d'œuvre.

Il n'est plus besoin désormais d'ouvrir et de fermer des vannes à des heures déterminées pour assurer l'immersion et l'aération successives des lits de premier ou de second contact. Tout se passe automatiquement, jour et nuit, sans arrêt, sans surveillance, et nous avons pu atteindre ce résultat, en évitant l'emploi d'appareils mécaniques plus ou moins compliqués et toujours coûteux.

Les dispositifs à adopter pour l'épuration biologique des eaux d'égout ne nous semblent donc guère susceptibles de plus grandes simplifications.

Il nous reste à démontrer qu'au point de vue de l'efficacité et de l'économie ils sont pleinement satisfaisants et que les villes, quelle que puisse être leur importance, peuvent en toute sécurité y avoir recours.

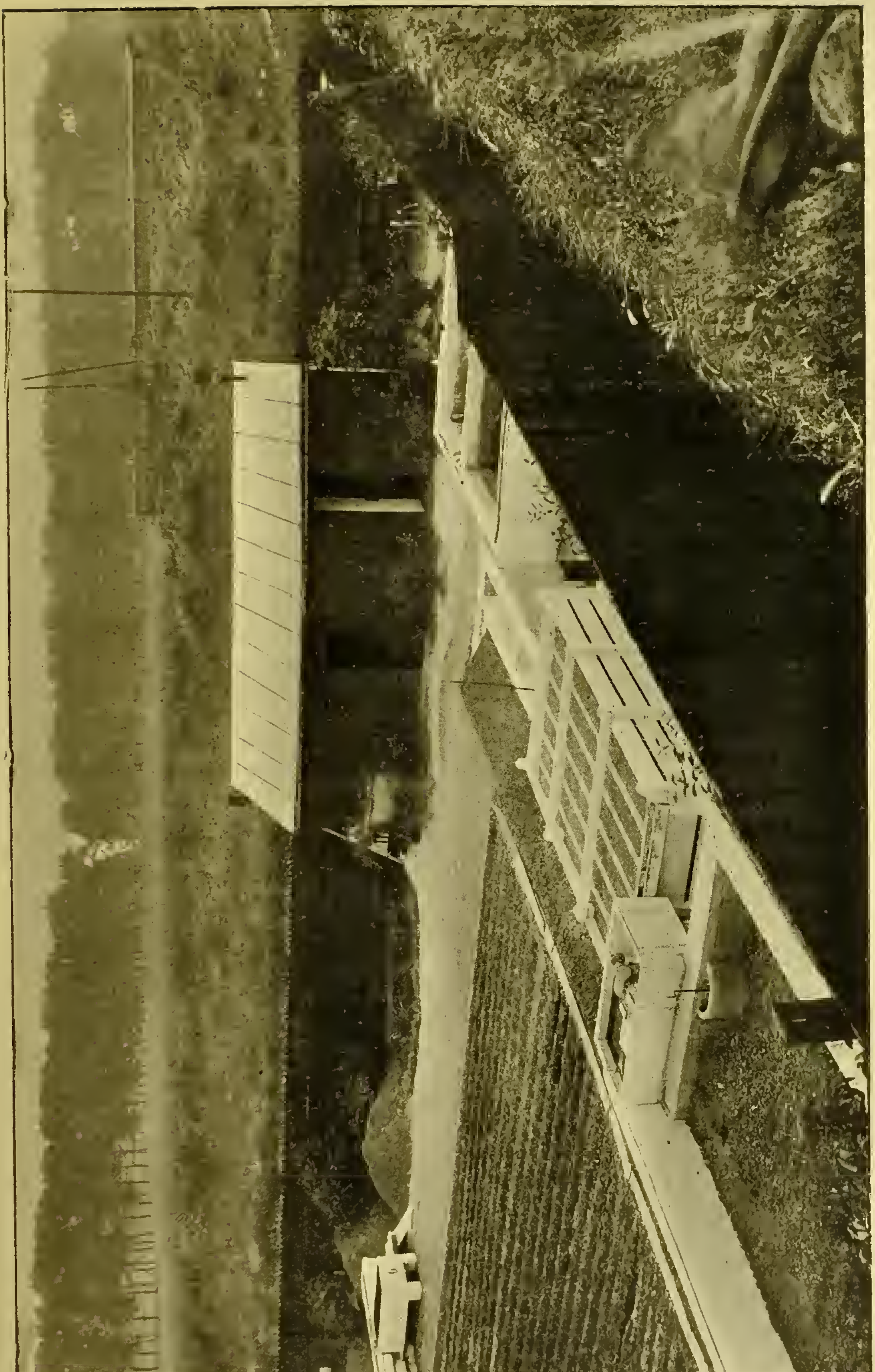


Fig. 8. — Lit percolateur actionné par un siphon Parenty et à rigoles de distribution couvertes.
(Station expérimentale de la Madeleine.)

CHAPITRE II

RÉSULTATS ANALYTIQUES NOUVEAUX DES EXPÉRIENCES DE LA MADELEINE [1]

Nous supposons connues du lecteur les méthodes d'analyse dont nous avons fait usage pour suivre le travail des fosses septiques et des lits bactériens, ces méthodes ayant été décrites dans le chapitre V de notre précédent volume.

Pendant cette année 1906, en même temps que nous commencions des recherches sur l'épuration des eaux résiduaires de quelques grandes industries contaminatrices de nos rivières, nous nous sommes proposé d'étudier comparativement la marche du travail de désintégration de la matière organique sur les lits bactériens intermittents dits de *contact*, et sur notre nouveau lit *percolateur*.

Dans ce but nous avons fait *chaque jour*, sur les effluents du 1er et du 2e contact, et sur celui du lit percolateur, les déterminations :

1° De l'oxygène absorbé en 3 minutes avant et après incubation (méthode anglaise dont nous avons montré les avantages. Vol. I, p. 51);

2° De l'oxygène absorbé en 4 heures;

3° De l'ammoniaque;

4° Des nitrates.

En outre, en janvier, février, mars et pendant une période de 6 jours pour chaque mois, et en mai pendant 28 jours de suite, nous avons procédé à des analyses complètes portant sur :

Les matières en suspension dans l'eau brute { organiques; minérales;

[1] Voir les graphiques et courbes, p. 297 et suiv.

Les matières organiques en solution, oxydables par le permanganate { en solution acide; en solution alcaline;

L'azote total;

L'ammoniaque libre ou saline;

L'azote organique { total; dissous (pour les 2 dernières périodes seulement);

Les nitrates;

Les nitrites;

Le carbone organique (en carbone) { total; dissous;

La numération des bactéries.

Comme on le remarque dans le tableau I, nous avons fait varier les quantités d'eaux traitées. Pendant les trois premières périodes de 6 jours, les lits de contact ne travaillaient qu'une seule fois par 24 heures.

Pendant le mois de mai ils ont travaillé *3 fois* par 24 heures.

La mesure des volumes d'eau traitée quotidiennement par lits de contact nous était fournie avec une précision mathématique, grâce à l'appareil jaugeur de débit de *M. Parenty*.

Celle des volumes d'eau traitée quotidiennement par le lit percolateur s'inscrivait d'elle-même sur les *compteurs de coups* dont nous avons pris soin de munir chacun de nos réservoirs de chasse, chaque chasse portant exactement sur 600 *litres* de liquide.

L'analyse de l'eau brute à l'entrée et à la sortie des fosses septiques a été faite en prélevant, comme l'année dernière, des échantillons moyens de 24 heures dans les bassins d'échantillonnage, lesquels reçoivent exactement jour et nuit 1/50 du débit total de l'égout pour l'eau brute, et 1/100 pour l'effluent des fosses septiques.

Le Tableau I ci-après indique les résultats fournis par les analyses complètes, périodiquement effectuées pendant 6 jours consécutifs (15-20 janvier; 12-17 février; 12-17 mars) et pendant 28 jours consécutifs en mai :

Il en ressort nettement que, même pendant l'hiver, la nitrification a toujours été plus active dans le lit percolateur que dans les lits de contact, et que la quantité de nitrates formés

Tableau I. — **Résultats** [...]

DATES DES PÉRIODES D'ANALYSES.	NATURE DE L'ÉCHANTILLON	VOLUME MOYEN EN 24 HEURES-MC	MATIÈRES EN SUSPENSION		OXYGÈNE ABSORBÉ		
			ORGANIQUES	MINÉRALES	EN 3 MINUTES	EN 3 MINUTES APRÈS INCUBATION	EN .
Du 15 au 20 janvier 1906	Eau brute	585,0	401,0	607,0	»	»	17
	Effluent des fosses septiques	585,0	79,0	157,0	»	»	18
	Effluent du lit bactérien :						
	— 1er contact	68,0	»	»	4,9	7,8	13
	— 2e contact	68,0	»	»	3,9	2,9	10
	Effluent du lit bactérien à siphons percolateurs	354,0	»	»	2,7	2,5	8
Du 12 au 17 février 1906	Eau brute	650,0	460,0	395,0	»	»	25.
	Effluent des fosses septiques	650,0	74,0	151,0	»	»	21.
	Effluent du lit bactérien :						
	— 1er contact	68,0	»	»	4,4	4,2	11
	— 2e contact	68,0	»	»	3,8	2,4	8
	Effluent du lit bactérien à siphons percolateurs	392,0	»	»	3,0	3,0	7
Du 12 au 17 mars 1906	Eau brute	518,0	355,0	434,0	»	»	14
	Effluent des fosses septiques	518,0	41,0	121,0	»	»	14
	Effluent du lit bactérien :						
	— 1er contact	68,0	»	»	3,9	4,3	10
	— 2e contact	68,0	»	»	2,5	2,9	7
	Effluent du lit bactérien à siphons percolateurs	225,0	»	»	2,4	2,5	5
Du 4 au 31 mai 1906	Eau brute	368,0	151,0	191,0	»	»	23.
	Effluent des fosses septiques	368,0	8,4	7,2	»	»	24.
	Effluent du lit bactérien :						
	— 1er contact	125,0	»	»	6,0	6,3	13
	— 2e contact	125,0	»	»	4,3	3,3	10
	Effluent du lit bactérien à siphons percolateurs	243,5	»	»	3,0	2,7	7

lligrammes par litre.

ATIÈRES GANIQUES Dosage rmanganate oxygène.		CARBONE ORGANIQUE EN C			AMMONIAQUE EN Az H³	AZOTE EN Az				NITRATES EN Az^2O^5	NITRITES EN Az^2O^3
							ORGANIQUE				
ACIDE	EN SOLUTION ALCALINE	TOTAL	DISSOUS	EN SUSPENSION		AMMONIACAL	TOTAL	DISSOUS	EN SUSPENSION		
0	38,0	144,2	50,2	90,0	10,2	8,4	10,3	»	»	»	»
0	36,0	75,3	22,9	52,4	12,1	9,9	8,3	»	»	»	»
8	19,8	»	21,6	»	8,0	6,6	»	6,7	»	8,3	tr.
9	15,3	»	17,8	»	4,5	3,7	»	5,5	»	19,8	1,0
8	10,6	»	11,6	»	3,1	2,5	»	4,1	»	22,3	2,8
,8	52,6	195,7	50,0	145,7	10,1	8,3	23,4	»	»	»	»
0	43,0	77,2	35,4	41,8	10,3	8,4	13,1	»	»	»	»
8	25,3	»	20,2	»	6,3	5,2	»	7,2	»	10,5	tr.
,4	16,1	»	14,3	»	4,0	3,3	»	3,8	»	19,3	1,2
,5	11,8	»	11,9	»	3,7	3,0	»	2,8	»	19,7	1,5
,0	48,0	207,4	36,2	171,2	8,4	6,9	16,5	7,4	9,1	»	»
,0	56,0	71,3	38,9	32,4	8,7	7,1	14,0	9,0	5,0	»	»
.6	29,5	»	27,3	»	5,9	4,8	»	6,1	»	7,5	0,6
,2	14,1	»	17,3	»	3,6	3,0	»	3,3	«	17,0	0,6
,1	12,7	»	10,8	»	2,9	2,4	»	3,0	»	21,0	3,1
,0	59,2	114,7	44,5	70,2	10,6	8,5	10,7	5,5	3,4	»	»
,5	61,2	50,7	45,6	5,1	11,5	9,7	6,4	6,0	0,4	»	»
,8	29,8	»	25,5	»	7,1	5,2	»	4,2	»	1,2	0,8
,1	18,5	»	18,9	»	3,8	3,1	»	3,0	»	6,9	1,4
,7	12,7	»	9,7	»	1,4	1,2	»	1,2	»	25,5	2,9

augmente d'autant plus qu'on réduit davantage le volume d'eau traitée par mètre carré de surface et par jour.

Avec un débit moyen de 600 litres par mètre carré de surface et par 24 heures, le lit percolateur donne 25mgr,5 de nitrates; l'azote ammoniacal s'y réduit de 76 pour 100 et l'azote organique de 87 pour 100.

Avec un débit de 980 litres par mètre carré de surface et par 24 heures, le même lit ne donne plus que 19mgr,7 de nitrates, et le taux de l'azote ammoniacal s'y réduit seulement de 27 pour 100, celui de l'azote organique de 84 pour 100.

Toutefois le taux moyen de l'épuration reste encore très satisfaisant, car l'effluent n'est jamais putrescible, même après 7 jours d'incubation à l'étuve à 30°, et les poissons rouges vivent parfaitement dans l'eau épurée.

A. **Oxygène absorbé en 3 minutes avant et après incubation.** — Bien que, dans la plupart des cas, l'oxygène absorbé *après incubation* par l'effluent du 1er contact soit peu supérieure à celle *avant incubation*, cet effluent manifestait presque toujours une légère putrescibilité.

Au contraire, l'effluent du 2e contact était toujours imputrescible.

Dans ce dernier, de même que dans celui du lit percolateur, nous avons constaté une production assez forte de *nitrites* pendant l'incubation, de sorte que l'oxygène absorbé était accru. Ce fait nous a amené à étudier de plus près les transformations produites pendant l'incubation en vase clos.

Épreuve d'incubation à 30° pendant 7 jours. — Lorsqu'on soumet pendant 7 jours une eau épurée à l'épreuve d'incubation, c'est-à-dire lorsqu'on la maintient à la température de 30° dans un flacon bouché, si l'épuration est satisfaisante il ne s'y développe aucune odeur et la limpidité du liquide devient parfaite.

Au contraire, si cette eau contient des matières organiques *putrescibles*, une fermentation anaérobie s'y établit bientôt et, à l'analyse, on trouve que l'ammoniaque augmente, alors que les nitrates diminuent. L'oxygène emprunté en 3 minutes au permanganate s'accroît par suite de la formation de composés réducteurs tels que l'hydrogène sulfuré. Toutefois

TABLEAU II. — **Oxygène absorbé en 3 minutes avant et après incubation à 30°.**

a) avant incubation. — *b*) après incubation.

DATES	LITS BACTÉRIENS 1er CONTACT		LITS BACTÉRIENS 2e CONTACT		LIT BACTÉRIEN A PERCOLATION	
	a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
2 au 6 janv. 1906.	6,4	10,2	3,0	5,5	3,9	4,7
8 — 13 — . .	5,4	7,3	4,4	3,3	3,3	3,1
15 — 20 — . .	4,9	7,8	3,9	2,9	2,7	3,6
22 — 27 — . .	4,8	4,4	3,6	2,0	3,2	3,7
29 — 3 février . .	4,6	5,4	3,6	3,5	2,7	4,6
5 — 10 — . .	5,2	4,7	3,9	3,6	3	3,0
12 — 17 — . .	4,4	4,2	3,8	2,4	1,8	2,8
19 — 24 — . .	4,7	6	3,6	2,5	3,2	3,3
26 — 3 mars. . .	4,4	4,5	2,9	2,1	2,4	2,4
5 — 10 — . . .	4,8	10,3	3,3	2,3	2,3	2,6
12 — 17 — . . .	3,8	4,3	2,5	2,9	2,4	3,5
19 — 24 — . . .	3,7	4,8	2,6	2,5	2,9	3,8
26 — 31 — . . .	5,4	6,8	3,7	3,3	3,0	3,3
2 — 7 avril. . .	5,5	8,4	4,2	3,9	3,1	2,9
9 — 14 — . . .	6,1	5,3	3,5	4	2,3	2,4
16 — 21 — . . .	5,4	8,2	3,8	2,6	2,0	2,3
23 — 28 — . . .	»	»	»	»	»	»
28 — 4 mai. . .	»	»	»	»	»	»
4 — 9 —	5,4	6,5	4,3	3,6	2,4	2,6
10 — 16 —	5,8	5,9	3,9	3,4	2,8	2,4
17 — 23 —	6,1	6,2	4,6	3,9	2,9	3,0
24 — 30 —	6,8	6,6	4,6	3,1	3,7	2,2
Moyenne générale	5,18	6,59	3,79	3,21	2,79	3,04

cette dernière épreuve n'est pas toujours probante, car il peut y avoir production de nitrites qui empruntent de l'oxygène au permanganate et donnent ainsi des chiffres trop élevés.

Pendant le mois de mai, nous avons mis en incubation *tous* les effluents que nous avions analysés et des résultats, réunis en *moyennes* dans le tableau n° 3, on peut déduire les conclusions suivantes :

Après le 1er contact, l'effluent a une légère tendance à la putréfaction ; il n'est pas suffisamment épuré.

Au contraire, après le 2e contact et pour le lit à percolation, malgré une assez forte quantité de nitrites, l'oxygène absorbé est moindre *après* incubation *qu'avant*.

2° *Ammoniaque*. — Augmentation légère après le 1er contact ;

Tableau III. — **Analyses des effluents des lits bactériens après 7 jours d'incubation à 30°** (Mai 1906).

EFFLUENTS	Oxygène absorbé en 3 minutes		Ammoniaque		Nitrates		Nitrites	
	Avant incubation.	Après incubation.	Avant incubation.	Après incubation.	Avant incubation.	Après incubation.	Avant incubation.	Après incubation.
Lit bactérien de 1er contact	6	6,3	7,1	7,4	1,2	0,5	0,8	0,4
Lit bactérien de 2e contact	4,3	3,3	3,8	3,7	6,9	2,1	1,4	3,7
Lit — à percolation	3	2,5	1,4	0,56	25,5	26,0	2,9	4,3

Diminution très légère après le 2e contact;

Diminution considérable après le lit percolateur.

3° *Nitrates.* — Diminution après le 1er contat;

Diminution forte après le 2e contact;

Résultats sensiblement égaux ou augmentation légère après le lit percolateur.

4° *Nitrites.* — Diminution après le 1er contact;

Augmentation après le 2e contact;

Augmentation après le lit percolateur.

On peut donc conclure que, pour un effluent à tendance putréfactive après incubation, l'oxygène absorbé en 3 minutes et l'ammoniaque augmentent.

Par contre, les nitrates et les nitrites diminuent.

Si l'effluent était nettement putrescible, les nitrates et les nitrites peuvent disparaître.

Lorsqu'un effluent contient moins d'ammoniaque et absorbe moins d'oxygène du permanganate en 3 minutes, même si la quantité de nitrates diminue, il n'y a à craindre aucune putréfaction. Souvent alors les nitrites augmentent.

Enfin, lorsque la quantité d'ammoniaque diminue et que les nitrates et nitrites augmentent, l'effluent est dans les conditions les meilleures pour être rejeté sans aucun danger

dans les cours d'eau; il sera souvent plus pur que l'eau du cours d'eau, surtout si ce dernier a traversé quelque ville ou agglomération.

B. **Oxygène absorbé en 4 heures.** — Cette détermination n'a qu'un intérêt très relatif pour les eaux d'égout. Elle est, au contraire, recommandable lorsqu'il s'agit d'eaux résiduaires industrielles : elle peut alors donner des indications utiles sur la marche de l'épuration.

Tableau IV. — **Oxygène absorbé en 4 heures.**

DATES	EAU BRUTE	FOSSE SEPTIQUE	LITS BACTÉRIENS 1er CONTACT	LITS BACTÉRIENS 2e CONTACT	LIT BACTÉRIEN A PERCOLATION
Du 2 au 6 janvier 1906.	19,6	25,9	18,5	14,3	15,4
— 8 — 13 — . . .	19,1	21,1	14,7	12,4	13,9
— 15 — 20 — . . .	17,4	17,0	13,3	10,7	8,5
— 22 — 27 — . . .	16,3	15,7	10,0	7,9	7,5
— 29 — 3 février. . .	20,4	20,1	10,9	8,2	7,4
Du 5 au 10 février. . .	21,1	20,8	11,6	8.6	7,2
— 12 — 17 — . . .	25,9	21,1	11,4	8,6	5,9
— 19 — 24 — . . .	19,6	22,7	12,1	8,4	7,3
— 26 — 3 mars. . . .	21,6	24,0	12,8	8,9	7,0
Du 5 au 10 mars. . . .	21,4	27,3	12,8	9,2	8,8
— 12 — 17 —	14 8	14,0	10,5	7,1	5,1
— 19 — 24 —	18,2	19.9	9,6	6,1	4,9
— 26 — 31 —	26,5	28,6	15,5	8,8	8,1
Du 2 au 7 avril. . . .	29,3	28,1	13,3	9,9	9,7
— 9 — 14 —	25,2	31,2	15,3	10,7	6,2
— 16 — 21 —	21,2	21,4	12,6	8,3	4,5
— 23 — 28 —	»	»	»	»	»
— 30 — 4 mai	»	»	»	»	»
Du 4 au 9 mai	23,0	26,1	16,1	11.5	6,6
— 10 — 16 —	23,8	24,7	14,9	8.9	10,4
— 17 — 23 —	23,8	22,3	13,0	10,4	6,1
— 24 — 30 —	23,9	22,9	14,4	12.4	7,1
Moyenne générale. . . .	21,55	22,74	13,27	9,57	7,38

Pour les lits de contact, les résultats généraux (qu'indique le graphique n° VI, *appendice*) sont sensiblement les mêmes qu'en 1905.

Pour l'effluent du lit à percolation, à part la période de début et une exception pendant le mois de mai, la quantité d'oxygène absorbé est toujours moindre que pour l'effluent du 2e contact.

C. **Ammoniaque libre ou saline.** — Avec les lits de contact les résultats sont un peu inférieurs à ceux de 1905 : il reste, après le 2e contact, un peu plus d'ammoniaque non nitrifiée.

TABLEAU V. — **Ammoniaque libre ou saline.**

DATES	EAU BRUTE	FOSSE SEPTIQUE	LITS BACTÉRIENS 1er CONTACT	LITS BACTÉRIENS 2e CONTACT	LIT BACTÉRIEN A PERCOLATION
Du 2 au 6 janvier 1906.	11,4	14,4	7,7	5,9	6,4
— 8 — 13 — . . .	11,4	10,2	5,5	3,3	4,4
— 15 — 20 — . . .	11,2	11,6	8,0	4,5	4,3
— 22 — 27 — . . .	9,7	12,1	5,5	3,4	4,5
— 29 — 3 février . . .	9,9	13,2	7,4	4,4	6,8
Du 5 au 10 février . . .	10,7	10,9	5,0	3,2	3,7
— 12 — 17 — . . .	10,1	10,3	6,3	4,0	3,6
— 19 — 24 — . . .	10,3	10,3	7,0	3,7	4,4
— 26 — 3 mars. . . .	12,1	13,2	7,5	4,6	5,2
Du 5 au 10 mars. . . .	11,3	11,9	7,0	4,1	3,6
— 12 — 17 —	8,5	9,0	5,9	3,6	2,9
— 19 — 24 —	8,9	11,7	6,2	2,9	2,8
— 26 — 31 —	11,1	11,1	7,2	3,8	3,2
Du 2 au 7 avril. . . .	11,4	10,7	7,3	4,4	2,3
— 9 — 14 —	11,6	13,0	11,5	5,5	2,8
— 16 — 21 —	10,6	8,5	9,1	4,6	1,4
— 23 — 28 —	»	»	»	»	»
— 30 — 4 mai	»	»	»	»	»
Du 4 au 9 mai	9,35	10,5	6,67	3,67	1,48
— 10 — 16 —	11,45	13,1	8,13	4,1	1,82
— 17 — 23 —	11,5	11,5	6,3	3,2	1,18
— 24 — 30 —	8,7	9,1	5,3	2,6	0,82
Moyenne générale . . .	10,56	11,45	6,92	4,05	3,48

Pour le lit percolateur les résultats s'améliorent considérablement avec le temps et, en mai, la quantité d'ammoniaque est tombée au-dessous de 1 milligramme par litre. La

température d'été favorise certainement la nitrification, mais celle-ci continue à se produire, malgré les plus grands froids de la saison d'hiver, dans des conditions satisfaisantes.

D. **Nitrates** (en Az^2O^5). — Comme nous l'avons déjà fait remarquer, la moyenne générale est très favorable à l'effluent du lit percolateur.

Lorsque les lits de contact ont travaillé à raison de trois périodes par 24 heures, le taux de la nitrification a constamment baissé d'une manière très sensible.

Tableau VI. — **Nitrates en Az^2O^5.**

DATES	LITS BACTÉRIENS		LIT BACTÉRIEN A PERCOLATION
	1er contact	2e contact	
Du 2 au 6 janvier 1906 . .	3,9	16,2	24,0
— 7 — 13 — . .	4,1	16,4	18,8
— 15 — 20 — . .	8,3	19,8	22,3
— 22 — 27 — . .	9,8	19,5	21,6
— 29 — 3 février	8,3	17,5	19,0
Du 5 au 10 février	10,8	20,1	18,0
— 12 — 17 —	10,5	19,3	19,7
— 19 — 24 —	7,0	19,5	20,1
— 26 — 3 mars.	4,6	16,8	20,4
Du 5 au 10 mars.	5,0	16,6	15,1
— 12 — 17 —	7,3	17,0	20,8
— 19 — 24 —	8,8	21,0	26,6
— 26 — 31 —	5,9	17,5	24,6
Du 2 au 7 avril	4,1	14,5	22,6
— 9 — 14 —	4,0	13,3	27,6
— 16 — 21 —	5,0	17,8	33,2
— 23 — 28 —	»	»	»
— 30 — 4 mai	»	»	»
Du 4 au 9 mai	1,7	8,5	26,0
— 10 — 16 —	1,3	6,9	28,0
— 17 — 23 —	0,7	4,9	27,5
— 24 — 30 —	0,9	7,1	20,3
Moyenne générale	5,59	15,51	22,87

E. **Nitrites.** — Les nitrites se trouvent toujours dans les effluents de tous les lits, souvent à l'état de traces dans l'ef-

fluent du lit de 1er contact, dosables dans l'effluent du lit de 2e contact et toujours en quantités plus fortes pour le lit à percolation.

Comme nous l'avons vu plus haut, ces nitrites diminuent après incubation dans l'effluent du lit de 1er contact; ils augmentent au contraire dans les effluents du lit du 2e contact et du lit percolateur. Dans l'effluent du lit du 2e contact, il y a réduction des nitrates, tandis que dans l'effluent du lit à percolation, les nitrites résultent de l'oxydation de l'ammoniaque.

F. **Oxygène dissous.** — De la moyenne d'un grand nombre d'analyses faites à la station même de la Madeleine, analyses dont les résultats variaient extrêmement peu, nous avons trouvé en oxygène gazeux libre :

Effluent du 2e lit de contact.	7mgr,8
— du lit percolateur	10mgr,2

Ce dernier chiffre est le même que celui que l'on trouve en moyenne dans les eaux potables.

G. **Carbone organique.** — Tous les dosages de carbone organique ont été effectués par la méthode Desgrez modifiée, décrite dans le 1er volume de nos recherches.

Nous avons dosé séparément le *carbone total* et le *carbone dissous;* la différence nous donnait le carbone organique des matières en suspension.

Les matières organiques sont, dans les égouts, de nature si diverse que les résultats varient avec chaque période, et il faut aussi tenir compte du charbon de terre que nous avons pu déceler dans les boues des fosses septiques et dont nous parlerons à ce moment.

Le carbone des matières organiques subit dans la fosse septique des fermentations très nombreuses rendues très apparentes par un dégagement plus ou moins abondant de gaz comprenant des hydrocarbures tels que CH^4 (méthane) et CO^2 (acide carbonique). Il faut signaler aussi qu'une certaine quantité de cet acide carbonique se combine à l'ammoniaque produite par la désintégration des matières azotées ou aux carbonates existants pour donner des bicarbonates. Une certaine quantité d'acide carbonique reste en solution.

Il est assez difficile dans une période aussi courte que les 5 premières de 6 jours, sur lesquelles nous avons expérimenté, de pouvoir se rendre compte du sort du carbone. Ainsi pour janvier et février, il y a diminution du carbone organique soluble dans l'effluent des fosses septiques, comparativement à l'eau brute. Au contraire, on constate une augmentation pendant la période de mars.

Pour la période plus longue de mai (28 jours) on constate une augmentation, peu importante il est vrai (45,6 au lieu de 44,5), mais le fait seul du maintien de la même quantité, *avant* et *après* la fosse septique, suffirait, en tenant compte de la fermentation très apparente, pour montrer que cette fermentation est capable de faire disparaître une partie probablement assez importante des matières organiques carbonées.

La proportion de carbone brûlé dans les lits pendant cette période de mai est, par rapport au carbone dissous dans l'eau brute :

Effluent de 1er contact.	43 %
— de 2e contact.	58 %
— du lit à percolation.	79 %

Il est probable que cette petite quantité de carbone restant entre dans la composition de corps très complexes, voisins des matières colorantes, car il ne peut plus fermenter même pendant l'incubation à la température très favorable de 30°, à l'étuve.

H. **Azote organique.** — Il est à remarquer d'abord que nos eaux sont très peu riches en azote organique, comparativement à leur teneur en carbone et à l'évaluation de la matière organique par les méthodes au permanganate. Ceci provient du peu de matières fécales qu'elles renferment, ces matières étant retenues dans un grand nombre de fosses fixes. Seul l'azote ammoniacal est quelquefois (surtout les dimanches et les jours de fêtes) assez abondant, conséquence des libations.

Nous avons, pour les 2 dernières périodes seulement, dosé l'azote dissous et les résultats montrent un enrichissement plus ou moins important du liquide après son passage dans la fosse septique. Comme il y a toujours augmentation de l'am-

moniaque après ce passage, il y a donc démonstration de la désintégration des matières azotées par les ferments ou leurs sécrétions diastasiques.

Si nous considérons la période de mai, — la plus intéressante puisqu'elle fut la plus longue, — on voit que l'azote organique dissous est détruit dans les lits bactériens, dans la proportion de :

	COMPARÉE A	
	Eau brute.	Eff. des fosses septiques.
	—	—
Dans le lit de 1er contact. . .	21 %	30 %
— de 2e contact. . .	44 %	50 %
— à percolation. . .	77 %	80 %

Les quantités qui restent surtout dans l'effluent du lit à percolation sont tellement minimes qu'elles sont pratiquement négligeables.

Comme pour tous les autres dosages, les résultats les meilleurs sont obtenus avec les lits à percolation.

I. Matières organiques en solution. — Oxydabilité au permanganate. — Nous avons effectué ces dosages parce qu'on les emploie habituellement pour évaluer la matière organique. Bien que rien ne nous autorise à dire que tous nos dosages fussent absolument comparables, car toutes les matières organiques ne sont pas oxydées de la même façon par le permanganate, ils nous permettent seulement d'admettre qu'après épuration il y a certainement une quantité beaucoup moins grande de ces matières.

Il est à remarquer, dans les deux périodes de mars et mai, que le dosage en solution alcaline a donné des résultats plus forts qu'en solution acide. Pour ces mêmes périodes[1] l'inverse se produit pour les lits bactériens. Pendant les périodes de janvier et de juillet, les dosages en milieu acide ont donné pour tous les liquides, avant et après épuration, des nombres plus forts qu'en milieu alcalin.

[1] Il est admis que, lorsque le dosage de l'oxydabilité en milieu alcalin donne des résultats plus forts que celui en milieu acide, c'est qu'il y a prédominance de composés azotés. Dans le cas inverse, il y a prédominance de composés hydrocarbonés.

Ici encore les lits à percolation agissent le mieux.

Pendant la période de mai, la diminution de l'oxydabilité a été par rapport à :

	L'EAU BRUTE		L'EFFLUENT DES FOSSES SEPTIQUES	
	Solution acide.	Solution alcaline.	Solution acide.	Solution alcaline.
Effluent du Ier contact.	41 %	50 %	45 %	52 %
— 2e contact. . .	60 %	69 %	63 %	70 %
— à percolation.	77 %	79 %	79 %	80 %

J. **Élimination des bactéries.** — Nous donnons ci-après, pour éviter des tableaux dont la lecture ne présenterait aucun intérêt, les chiffres moyens de bactéries comptés d'après un grand nombre d'analyses. Celles-ci ont été effectuées suivant la technique usuelle : numération sur plaques de bouillon peptoné, gélatiné, légèrement alcalin, et isolement des espèces les plus fréquemment présentes, dans les milieux spéciaux qui permettent d'effectuer leur détermination (pommes de terre, bouillons phéniqués, gélose colorée au dahlia, bouillon lactosé, lait).

Le nombre moyen des germes contenus dans l'eau brute est toujours très considérable. Il reste aux environs de 5 000 000 *par centimètre cube*.

Ce nombre s'accroît naturellement beaucoup pendant la fermentation anaérobie en fosse septique. Au sortir de ces fosses, les aérobies ou aérobies facultatifs se chiffrent par 50 *millions;* les anaérobies cultivables dans la gélose-peptone salée, purgée d'air par le vide et un courant d'hydrogène pur, sont au nombre d'environ 1 750 000 *par centimètre cube* après 4 jours d'étuve à 30°.

Dans l'effluent du 2e contact intermittent, les aérobies tombent à 2 900 000 et celui des anaérobies à 98 000.

Dans l'effluent du lit percolateur, on ne compte plus que 800 000 *germes aérobies* et 2000 *anaérobies*.

On ne doit pas s'étonner de ce que le passage de l'eau d'égout, soit sur lits de contact, soit sur lits percolateurs n'aboutisse pas à l'élimination d'un plus grand nombre de germes microbiens : il ne faut pas oublier, en effet, que les lits bactériens ne constituent point un filtre capable d'arrêter les

microbes comme les filtres à sable, mais qu'ils représentent au contraire un véritable milieu de culture, un *support* sur lequel un très grand nombre d'espèces microbiennes doivent se multiplier pour désintégrer la matière organique qui se fixe dans les pores des scories.

Les espèces que l'on rencontre dans l'eau épurée sont précisément celles dont l'activité épurante est le plus intense. Il serait donc tout à fait fâcheux qu'on ne les y trouvât pas en quantité notable, car cela prouverait que les lits bactériens fonctionnent mal. D'ailleurs, lorsque l'eau est convenablement épurée, ces espèces ne tardent pas à disparaître un peu plus tard, dans l'effluent lui-même, faute de matière organique capable de leur servir d'aliment. On en trouve la preuve dans ce fait que, si l'on conserve des échantillons d'eau épurée à la température de 30° (qui est la plus favorable à la pullulation des germes) soit en vase clos, soit dans des flacons ouverts à l'air libre, le nombre des microbes y diminue très rapidement.

C'est ainsi que l'eau sortant du lit percolateur, placée dans les conditions susdites à l'étuve, ne renferme plus, après 2 jours, que 11 000 *germes aérobies par centimètre cube*; après 5 jours elle n'en contient que 7500.

On doit en conclure que cette eau épurée pourrait être rejetée dans les rivières sans plus d'inconvénients que les eaux de pluie qui ont lavé la surface du sol des champs cultivés.

Le tableau ci-après (n° VII) met en évidence ces effets d'élimination spontanée des germes :

Les coefficients d'élimination des germes peuvent donc être établis comme suit :

Pour les lits de contact, après 2 contacts.

Ensemencement immédiat après la prise d'échantillon.	58,4 %
— après 2 jours d'étuve à 30°.	74,9 %
— — 5 jours —	99,6 %

Pour le lit percolateur.

Ensemencement immédiat après la prise d'échantillon.	79,65 %
— après 2 jours d'étuve à 30°.	99,75 %
— — 5 jours —	99,82 %

TABLEAU VII. — **Numération et vitalité des germes microbiens dans les eaux biologiquement épurées.**

(Moyennes générales par centimètre cube.)

	ENSEMENCEMENT	ESPÈCES AÉROBIES	ESPÈCES LIQUÉFIANT LA GÉLATINE	ESPÈCES ANAÉROBIES
Eau brute. . . .	Immédiat après la prise d'échantillons. .	4 050 000	675 000	1 224 000
Effluent des fosses septiques.	Immédiat. . . .	50 250 000	5 900 000	1 750 000
Effluent du 2ᵉ contact. . . .	Immédiat. . . .	2 900 000	1 200 000	98 000
	Après 2 jours d'étuve à 30°.	1 020 000	250 000	»
	Après 5 jours d'étuve à 30°.	14 400	4 500	»
Effluent du lit percolateur. . .	Immédiat. . . .	827 000	540 000	2 058
	Après 2 jours. .	11 000	5 000	»
	Après 5 jours. .	7 500	850	»

Espèces microbiennes le plus fréquemment déterminées. — Nous n'avons pas cherché à isoler les espèces extrêmement nombreuses et variées que l'on rencontre dans l'eau brute, ce travail ne présentant aucun intérêt d'ordre pratique.

Il était beaucoup plus utile de limiter nos investigations à l'eau épurée.

Notre attention a été concentrée surtout sur la détermination du *bacille typhique*, du *bacterium coli*, du *bacille pyocyanique*, des *streptocoques* et des *staphylocoques*.

Jamais nous n'avons pu déceler l'existence du *bacille typhique*.

Par contre, celle du *bacillus coli commune* est constante. Le nombre moyen de ces germes que l'on trouve dans l'effluent des lits de contact est de 4000 par centimètre cube, et, dans l'effluent du lit percolateur, de 2000 par centimètre cube, contre 20 000 dans l'effluent des fosses septiques.

Le *bacille pyocyanique* est assez fréquent.

Il en est de même des *streptocoques*, mais les *staphylocoques* ne se rencontrent que très exceptionnellement.

Les bactéries *chromogènes* sont assez nombreuses, en parti-

culier le *bacillus violaceus*, un micro-bacille rouge identifiable au *bacillus prodigiosus* et une petite *sarcine jaune*.

Les espèces de beaucoup les plus communes sont le *bacillus subtilis*, le *bacillus megaterium*, le *proteus mirabilis*, de nombreuses variétés de *fluorescens liquefaciens* et l'*oïdium lactis*.

M. Bardou a étudié plus particulièrement dans nos laboratoires les bactéries thermophiles qui se rencontrent en assez grand nombre dans les fosses septiques de la Madeleine. Ces microbes, si l'on en juge par l'activité de leurs sécrétions diastasiques, jouent certainement un rôle dans la dégradation des matières hydrocarbonées et azotées. Ils ont la curieuse propriété de se développer parfaitement aux températures de 50 à 70°.

Nous renvoyons le lecteur que cette question intéresserait, au travail original de M. Bardou(1).

* * *

Il pourrait être utile, dans certains cas, d'éliminer aussi complètement que possible les bactéries banales ou facultativement pathogènes que contient presque toujours l'eau d'égout épurée.

C'est pourquoi nous avons cru nécessaire d'effectuer quelques recherches à ce sujet.

Nous avons fait installer à la Madeleine un filtre à sable construit sur le type des filtres anglais, tels que ceux que l'on emploie à Hambourg, à Londres et dans une foule d'autres grandes villes, pour la filtration des eaux potables. Mais, afin d'augmenter son débit, au lieu d'en submerger constamment la surface sous une épaisseur de 0 m. 40 à 0 m. 50 d'eau, comme on le fait habituellement pour provoquer la formation de la membrane filtrante, nous avons tout simplement recouvert la couche de sable fin d'une épaisseur de 0 m. 20 de scories, de 2 à 5 millimètres de diamètre, et nous déversions directement sur les scories, par intermittences, l'eau sortant d'un lit de contact. Les intermittences étaient les mêmes que celles du lit de contact (de 1 à 3 immersions par 24 heures) et le lit filtrant ainsi constitué recevait un volume de liquide cor-

(1) Bardou, Thèse pour le diplôme supérieur de pharmacien de 1re classe. Lille, juillet 1906.

respondant à 500 litres par mètre carré de surface et par jour.

Nous avons pu constater qu'un filtre à sable de cette nature, dans lequel la membrane biologique filtrante est remplacée par une couche de scories fines, permet d'éliminer environ 85 pour 100 des bactéries contenues dans l'effluent du lit de contact[1].

On pourrait donc, s'il en était besoin, se servir de ce procédé lorsqu'il importe de ne déverser dans les rivières qu'une eau aussi pauvre que possible en germes microbiens.

L'élimination plus complète encore des bactéries (jusqu'aux environs de 95 pour 100), est sûrement obtenue si l'on prend soin de conserver l'effluent d'un lit percolateur dans un réservoir capable de retenir l'eau pendant deux heures, et d'y ajouter une quantité extrêmement minime de *sulfate de cuivre*. Un *dix-millième* de ce sel suffit à détruire très rapidement la plupart des germes non sporulés, y compris le *coli-bacille*, et cette quantité est absolument inoffensive pour les poissons.

Ce procédé est employé aux États-Unis pour purifier les eaux d'alimentation, surtout en vue d'y supprimer les algues qui se multiplient parfois avec une intensité très gênante dans les réservoirs et jusque dans les canalisations. Les végétaux inférieurs sont en effet très sensibles à l'action toxique du sulfate de cuivre. Au contraire, les plantes aquatiques et les animaux n'en sont nullement incommodés.

K. **Boues des fosses septiques. Leur élimination.** — Dans notre installation expérimentale de la Madeleine, les fosses à sable ont une capacité insuffisante pour nous permettre de retenir la majeure partie des matières lourdes que renferme l'eau d'égout, étant donné surtout le volume d'eau plus considérable sur lequel ont porté nos expériences de cette année.

Nous avons pu nous rendre compte qu'il eût fallu leur donner des dimensions beaucoup plus grandes, égales à environ 1/20 de celles des deux fosses septiques.

[1] Ce principe du filtre à sable dans lequel la membrane est remplacée par des scories est actuellement appliqué par nous à la filtration des eaux potables. Autant que nos études encore récentes ont pu nous en convaincre, les résultats sont aussi parfaits qu'avec le filtre submergé et le débit en est plus grand. L'eau est distribuée à la surface du filtre par des becs pulvérisateurs.

Les quantités de ces matières en suspension qui ont ainsi échappé aux fosses à sable et à l'action des fosses septiques se sont élevées

En janvier	à 25,4 %
En février	à 26,5 %
En mars	à 20,4 %
En mai	à 4,5 %

Ces entraînements résultent de ce que les grandes pluies amènent dans notre égout du système unitaire de fortes proportions de terres et d'argile. Cette dernière surtout reste à l'état colloïdal et se dépose très lentement.

D'autre part, le volume d'eau que nous avons admis dans les fosses septiques a été beaucoup plus considérable que précédemment, de sorte que celle-ci y séjournait moins de 20 heures.

On pouvait donc craindre une diminution trop rapide de la capacité volumétrique des fosses septiques et, par suite, un défaut de solubilisation ou de gazéification des matières organiques.

Aussi avons-nous jugé utile d'effectuer deux dragages, l'un en novembre 1905, l'autre en juin 1906 (Il n'en avait été effectué aucun depuis le mois de juillet 1904, date de la mise en marche de nos fosses).

Les boues et les dépôts extraits depuis le 1er juillet 1904 jusqu'après le dragage du 30 juin 1906, tant des fosses à sable que des fosses septiques, ont été rigoureusement mesurés, et nous ont fourni les chiffres suivants [1] :

	Boues humides.	Matières sèches.
Fosses à sable	6.758kgr	1.880kgr
Fosses septiques	70.434kgr	14.640kgr
Au total	77.192kgr	16.520kgr
Soit, par an	38.586kgr	8.260kgr
Et par mois	3.215kgr	688kgr

Nous avons prélevé de nombreux échantillons de ces boues des fosses septiques, et le tableau n° VIII montre la différence

[1] Il y a lieu d'ajouter à ces chiffres ceux qui représenteraient les boues restant dans les fosses après dragage, et que nous n'avons pu évaluer.

de leur composition suivant l'endroit où elles se déposent. Ces différences étaient d'ailleurs faciles à prévoir; à l'entrée se déposent les boues les plus riches en matières minérales; près de la sortie au contraire s'accumulent les matières organiques non dissoutes et les graisses.

Tableau VIII. — **Composition moyenne des boues des fosses septiques.**

	MATIÈRES SÈCHES °/₀ DE BOUES HUMIDES	MATIÈRES VOLATILES AU ROUGE	MATIÈRES FIXES AU ROUGE	MATIÈRES GRASSES	AZOTE
Moyenne. . . .	20 65	34,7	65,3	5,4	1,37
Minimum entrée	18	31,2	68,8	3,18	0.85
Maximum sortie	21,2	39	61	7,27	1,80

Ces boues renferment toujours des proportions notables d'argile et d'humus, car la ville de la *Madeleine* compte de nombreux jardins et encore quelques parcelles de terre cultivée. De plus, les charrois y amènent des campagnes environnantes beaucoup de terre qui se dépose sur le pavé et est entraînée dans les égouts par les pluies.

Une installation d'épuration biologique urbaine devrait donc toujours aménager, à côté des fosses septiques, un terrain spécialement affecté à l'égouttage et à la dessiccation partielle des boues. Il importe d'ailleurs de remarquer que celles-ci ne représentent qu'un volume relativement faible, qu'elles sont très denses à cause de leur teneur élevée en matières minérales, et qu'elles peuvent être manipulées sans difficultés, car elles ne dégagent aucune odeur désagréable : elles sentent la tourbe et ne sont plus susceptibles de se putréfier. On peut donc les laisser égoutter dans un bassin creusé dans le sol et les évacuer économiquement lorsque leur teneur en eau s'est abaissée à 50 pour 100 environ. Elles constituent un excellent amendement pour les champs du voisinage.

L. **Carbone organique dans les boues des fosses septiques.** — Nous avons effectué les dosages de carbone organique par la méthode *Desgrez* modifiée et les résultats obtenus, que nous

avons distraits du tableau VIII, méritent une interprétation différente de celle qui semble probable au premier examen.

Maximum-entrée	24,6 %
Maximum-sortie.	19,6 %
Moyenne	21,15 %

En effet, il semble naturel que les matières carbonées fermentent activement dans les fosses septiques, mais si on compare ces chiffres à ceux donnés pour les matières volatiles au rouge, on trouve :

	Matières volatiles au rouge.	Carbone.
Entrée	51,2	24,6
Sortie.	39,0	17,6
Moyenne	54,7	21,15

Le pourcentage de carbone dans ces matières est beaucoup plus considérable que dans la plupart des matières organiques à l'entrée, tandis qu'à la sortie il se rapproche des chiffres normaux.

L'explication du reste en est simple : si on examine attentivement les boues, surtout à l'entrée, on y remarque aisément des petites particules de charbon de terre (si communes partout dans nos régions industrielles) et des parcelles charbonneuses rejetées avec les fumées par les nombreuses cheminées d'usines.

Comme il n'existe pas de méthode pratique de séparation de ce charbon, il a été dosé comme carbone organique. Il faudrait donc, au moins dans une certaine proportion, ajouter ce carbone aux matières minérales.

M. **Gaz des fosses septiques.** — Nous avons cherché à déterminer la quantité de gaz que pouvait dégager une fosse septique en marche normale. Mais cette détermination, ainsi que nous avons dû nous en rendre compte, est très difficile à effectuer parce que ces gaz se dégagent en des endroits différents et souvent en quantités considérables à un certain moment, pour cesser de se dégager pendant un temps plus ou moins long. Il se forme en effet, pendant la fermentation des boues accumulées au fond des fosses, des poches de gaz qui ne

peuvent arriver à la surface que lorsqu'elles ont une tension suffisante pour vaincre la résistance d'une colonne d'eau de 2 à 3 mètres. Il est aisé de s'en rendre compte en plongeant une perche jusqu'au fond des fosses : immédiatement un dégagement tumultueux de gaz se produit.

Nous avons dû nous borner cette année à déterminer qualitativement la nature de ces gaz, faute d'avoir pu nous procurer à temps les appareils spéciaux pour faire les analyses quantitatives.

Nous avons trouvé :

- Acide carbonique;
- Azote;
- Hydrogène sulfuré;
- Carbures d'hydrogène (Méthane CH^4);
- Oxygène (en très petite quantité).

Nous publierons ultérieurement les résultats de ces analyses quantitatives.

N. **Durée de séjour des eaux dans les fosses septiques.** — Il est très difficile de se rendre compte d'une façon certaine de la durée du séjour des eaux en fosse septique, par suite du mélange intime des eaux de différentes compositions dans une fosse où le courant est simplement contrarié par des chicanes.

Nous avons eu recours à une matière colorante qui n'est nullement modifiée par les fermentations en fosse septique et que nous avons ajoutée en quantité telle qu'en admettant une solution rapide dans tout le volume de la fosse, le liquide restât coloré. Nous avons choisi la *fluorescéine* qui est souvent employée pour rechercher les causes de contamination des sources.

Nous avons versé à l'arrivée des eaux (avant les fosses à sable), 500 grammes de fluorescéine préalablement dissoute dans une quantité convenable d'eau. La couleur se propage de proche en proche assez rapidement entre 2 chicanes de surface qui la retiennent un certain temps, puis elle passe au compartiment voisin.

Des échantillons prélevés d'heure en heure au déversoir de

sortie de la fosse septique nous ont permis de nous rendre compte de la rapidité du trajet suivi par la matière colorante.

Les premières eaux très faiblement colorées passent à la sortie 5 heures environ après l'addition de la fluorescéine dans l'eau brute. La coloration augmente progressivement pour arriver à un maximum 21 heures après le début de l'expérience et va s'affaiblissant de plus en plus pour disparaître après 38 heures.

Il est passé pendant ces 38 heures 485 mètres cubes d'eau, soit 307 mètres cubes par 24 heures, la capacité de la fosse étant de 275 mètres cubes.

On peut donc conclure que l'eau met au moins 24 heures à renouveler complètement le liquide de ces fosses lorsque le régime d'arrivée des eaux est égal au volume de la fosse.

O. Influence du fer sur le processus d'épuration biologique. — La quantité de fer que l'on peut trouver dans les eaux résiduaires ne joue pas un rôle aussi important que dans les eaux potables. Cependant on a attribué aux composés de ce métal, qui peuvent s'y trouver en grande quantité, un rôle dans le colmatage des lits bactériens, et *M. G. Fowler* l'a démontré pour les eaux très ferrugineuses des égouts de *Manchester*.

Il était, par suite, intéressant de rechercher si le fer introduit dans les eaux brutes était retenu par l'une ou l'autre des transformations qui s'effectuent dans l'épuration biologique.

Pour cela, nous avons dosé le fer dans l'eau brute, dans l'effluent des fosses septiques et dans celui des lits bactériens. Nous avons employé, vu la très petite quantité de fer que nous trouvions dans ces eaux, la méthode colorimétrique basée sur l'action des sulfocyanates en solution acide sur les sels ferriques. On obtient ainsi une coloration rouge, variable suivant le sulfocyanate employé, mais suffisamment proportionnelle à la quantité de fer lorsqu'on se tient entre certaines limites.

Pour ce dosage, il est nécessaire de préparer l'eau de façon à ce qu'elle soit limpide, incolore et qu'elle contienne le fer à l'état de sel ferrique. Pour cela on évapore un demi-litre d'eau dans une capsule de porcelaine au bain de sable, après y avoir

ajouté quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique et quelques cristaux de chlorate de potasse pur. Le résidu sec est repris par de l'eau acidulée par HCl et on amène à un volume convenable, soit 100 centimètres cubes. On filtre si le dosage doit être immédiat, ou on laisse déposer.

De ce liquide filtré ou décanté, on prélève une quantité qui, étendue à 50 centimètres cubes, donnera par addition de 1 centimètre cube de solution saturée de sulfocyanate de potassium une coloration voisine de celle obtenue par l'addition de ce réactif dans une solution d'alun de fer titrée de façon à contenir $0^{mgr},2$ de fer par 50 centimètres cubes.

On compare les deux colorations au colorimètre et le rapport donne la quantité de fer contenue dans l'eau analysée.

Il est aussi indispensable de traiter l'eau le plus rapidement possible après la prise d'échantillon, car le fer, dans ces solutions très alcalines, ne tarderait pas à se précipiter.

Il faut aussi avoir soin que l'acidité des liquides traités par le sulfocyanate soit égale à celle de la solution type. Enfin la comparaison au colorimètre doit se faire très peu de temps après l'addition du réactif, car les colorations diminuent très rapidement d'intensité.

Toutes ces précautions prises, nous avons obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant en opérant sur les eaux décantées mais non filtrées.

TABLEAU IX. — **Fer** (Milligrammes par litre).

	EAU BRUTE	EFFLUENT DES FOSSES SEPTIQUES	LITS BACTÉRIENS		
			1er CONTACT	2e CONTACT	A PERCOLATION
6 au 17 févr. 1906.	2,94	2,7	0,8	0,32	0,31
11 au 17 mars 1906.	3,1	2,5	1,1	0,59	0,41
25 au 31 mai 1906.	2,9	2,2	1,2	0,33	0,19

On voit que, d'une façon constante, la quantité de fer, après avoir diminué très faiblement par le passage en fosse septique, décroît au contraire fortement après le passage au travers des lits bactériens.

Pour des quantités relativement minimes, le dépôt de fer sur les scories est de peu d'importance. Il semble même qu'on soit autorisé, comme ont voulu le faire certains ingénieurs, à attribuer à la présence du fer, qui doit forcément se suroxyder dans les lits bactériens, un rôle favorable à l'oxydation et, par suite, à l'épuration finale.

CHAPITRE III

TRAVAIL COMPARÉ DES LITS DE CONTACT INTERMITTENTS ET DES LITS A PERCOLATION

Les résultats analytiques de nos expériences de la Madeleine accusent très nettement l'infériorité des lits de contact par rapport au lit bactérien percolateur, tant au point de vue du rendement qu'à celui des effets d'épuration.

Sur la surface totale de 400 mètres carrés dont nous disposons, le lit percolateur a reçu des volumes d'eau variant de 225 mètres cubes à 392 mètres cubes par jour, soit de 557 à 980 litres par mètre carré de surface et par jour.

Pendant le même temps, les lits de contact ne recevaient régulièrement, en *un* ou *trois* remplissages par 24 heures, que 68 ou 125 mètres cubes.

Or, si nous comparons respectivement pendant trois périodes de 5 jours chacune (15-20 janvier, 12-17 février, 12-17 mars 1905) les résultats de l'épuration par deux contacts successifs *avec un seul remplissage par jour*, et ceux de l'épuration par le lit percolateur, nous voyons, d'après le tableau suivant, que la proportion d'oxygène emprunté en 4 heures au permanganate est toujours notablement moindre dans l'effluent du second, que la proportion d'azote ammoniacal ou organique y est également moindre et que la nitrification y est sensiblement plus active.

Les différences en faveur du lit à percolation s'accentuent encore davantage lorsque les lits de contact travaillent à raison de trois remplissages par jour.

Si nous comparons les quantités respectives de nitrates

Résultats comparés de l'épuration par le procédé de double contact et par la percolation.

	PÉRIODES (Milligrammes par litre).												MOYENNE			
	15-20 JANVIER				12-17 FÉVRIER				12-17 MARS							
	Oxygène absorbé en 4 heures.	Azote ammoniacal.	Azote organique.	Nitrates.	Oxygène absorbé.	Azote ammoniacal.	Azote organique.	Nitrates.	Oxygène absorbé.	Azote ammoniacal.	Azote organique.	Nitrates.	Oxygène absorbé.	Azote ammoniacal.	Azote organique.	Nitrates.
Effluent des fosses septiques.	18,9	12,1	10,1	0	21,1	10,5	16,1	0	14,2	8,7	17,0	0	18,1	10,4	14,4	0
Épuration après 2 contacts. . . .	10,7	4,5	6,6	19,8	8,6	4,0	4,6	19,5	7,15	5,6	4,0	17,0	8,9	4.0	5,1	18.7
Épuration après percolation. . . .	8,5	5,1	5,0	22,5	7,2	5,7	5,4	19,7	5,2	2,9	5,7	21,0	7,0	5,2	4,0	21.0

existant dans l'effluent du 2e contact et dans celui du lit percolateur, du 1er janvier au 1er juin 1905, nous trouvons :

	Moyennes mensuelles					Moyenne générale
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	
	—	—	—	—	—	—
Effluent du 2e contact..	17,9	15,1	14,4	15.2	5,5	**15.51**
Effluent du percolateur.	21,1	15,6	17,4	27,8	20,5	**22,87**

En ce qui concerne l'*élimination des bactéries*, la plus grande efficacité du lit percolateur se manifeste également avec évidence :

	Moyenne générale de cinq mois par centimètres cubes		
	Aérobies non liquéfiants.	Aérobies liquéfiant la gélatine.	Bact. coli.
	—	—	—
Effluent des fosses septiques..	50 250 000	5 900 000	20 000
Effluent du 2e contact	2 900 000	1 200 000	4 000
Effluent du lit percolateur. . .	827 000	540 000	2 000

Les lits de contact éliminent donc seulement 58,4 pour 100 des germes aérobies que renferme l'eau sortant des fosses septiques, alors que le lit percolateur en élimine 79,6 pour 100.

*
* *

Le faible débit moyen de l'égout de la Madeleine ne nous a pas permis de pousser le travail de notre lit percolateur jusqu'à lui faire épurer plus de 980 litres par mètre carré et par jour.

Ce chiffre représente donc le rendement maximum obtenu par nous, alors qu'avec *trois périodes par 24 heures* celui de nos lits de contact n'a jamais dépassé 150 mètres cubes pour deux contacts (le premier sur 192 mètres carrés, le second sur 224 mètres carrés), soit pour 416 mètres carrés de surface :

416 : 150 = 277 litres par mètre carré de surface et par jour de 24 heures.

Le lit percolateur de la Madeleine épure, par conséquent, avec des résultats plus parfaits, dans le même temps et sur la même surface, *trois fois et demi plus d'eau d'égout que les lits de contact*.

Sidney Barwise (1) a compulsé les rapports de toutes les stations d'épuration biologique anglaises et résumé, ainsi qu'il suit, les avantages et les inconvénients respectifs des lits de contact et des lits à percolation :

Lits de contact	*Lits percolateurs*
1. — Les lits de contact doivent être construits en maçonnerie *étanche*, ce qui entraîne nécessairement des frais considérables.	Les lits percolateurs sont moins coûteux à construire parce qu'ils n'ont pas besoin d'être supportés par des murs en maçonnerie.
2. — Un *double contact* est indispensable pour obtenir une épuration égale à celle d'un lit percolateur.	Ils donnent des résultats beaucoup plus satisfaisants.
3. — Le volume d'air qui pénètre dans un lit de contact est seulement égal au volume d'eau d'égout traité; par suite, l'oxydation y est limitée.	Le volume d'air qui pénètre dans les scories peut être au moins égal à cinq fois le volume d'eau d'égout traité; par suite, l'oxydation y est beaucoup plus active.
4. — L'eau d'égout, noyant les scories du lit de contact, tend sans cesse à y produire des tassements.	Si le lit percolateur est bien construit, il ne s'y produit aucune détérioration; seule, la surface peut se tasser légèrement à la longue.
5. — Les lits à double contact permettent de traiter au maximum 500 *litres d'eau d'égout par mètre carré et par jour*.	Les lits percolateurs peuvent facilement épurer plus de 2 *mètres cubes d'eau d'égout par mètre carré et par jour*, soit 4 fois plus que les lits de double contact intermittents.

On voit que, dans l'ensemble, les lits percolateurs ont une supériorité évidente sur les lits de contact.

Il peut cependant se présenter des circonstances où les lits de contact doivent être préférés : par exemple lorsque, le sous-sol étant formé d'argile compacte, il est possible de les construire sans maçonnerie, ou lorsque la différence de niveau dont on dispose est trop faible.

En Angleterre, l'installation la plus parfaite du système percolateur est celle de *Chesterfield*, qui comprend deux lits de 515 mètres carrés de surface chacun, séparés l'un de l'autre par un large tuyau qui reçoit l'eau d'égout refoulée par un éjecteur *Shone*. De ce tuyau formant axe principal, partent une série de canaux secondaires cylindriques dont le diamètre va en diminuant, et qui portent, tous les $1^{m},85$, un orifice dirigé verticalement.

Chaque fois que l'éjecteur fonctionne, une masse de 454 litres

(1) *The Purification of sewage*. London, 1904.

d'eau d'égout est propulsée par l'air comprimé à travers ces orifices et sort en autant de jets verticaux qui se brisent sur une lame métallique inclinée. Les figures 7 et 8, pages 135 et 137 du volume I de nos recherches, indiquent très clairement le fonctionnement du système qu'on pourra d'ailleurs voir bientôt appliqué, avec de légères variantes, à la station d'épuration du département de la Seine, à *Créteil*.

L'éjecteur *Shone*, de *Chesterfield*, expulse en moins de 10 secondes ses 454 litres de liquide qui se disperse aussitôt en pluie sur toute la surface des lits. L'un de ces lits a été garni de coke, l'autre de scories provenant de l'incinération des ordures ménagères. Ils sont pourvus d'un drainage en tuyaux de grès perforé, directement posés sur le sol.

Tous les deux donnent d'excellents résultats depuis *sept ans*. Le tableau analytique ci-après montre les différences de composition chimique du liquide à l'entrée (après pulvérisation) et à la sortie du lit percolateur :

	Eau brute sortant de la fosse septique.	Eau épurée.
	—	—
Matières en suspension (par litre).	0gr,83	0gr,02
Chlore	0gr,11	0gr,11
Alcalinité en carbonate de chaux. .	0gr,375	0gr,185
Ammoniaque libre	0gr,008	0gr,002
Azote albuminoïde.	0gr,0039	0gr,0005
Nitrates	0	0gr,002
Nitrites.	0	traces
Oxygène dissous.	0cc,5	7cc,4
Acide carbonique libre.	0cc,40	0cc,176

Il ne semble pas que la *pulvérisation* de l'eau d'égout à la surface du lit ait pour effet d'activer l'oxydation des matières organiques.

Dans le plus grand nombre des installations de lits percolateurs en Angleterre, on a adopté la distribution par *sprinklers* (tourniquets hydrauliques), que nous avons déjà décrits, et dont il existe plusieurs systèmes (*Adams*, *Candy* et *Wittaker*, *Matther and Platt*, etc.). Toutes donnent, en général, des résultats satisfaisants lorsque la distribution du liquide à la surface des lits s'effectue avec régularité, et lorsque le matériel dont les lits sont constitués est suffisamment fin et poreux.

Partout, les scories ou le coke sont préférés aux cailloux de granit ou à la brique concassée. On remarque également que les meilleures dimensions à donner aux scories ou au coke sont entre 5 et 15 millimètres de diamètre (en prenant soin de les débarrasser le mieux possible de poussières par un lavage convenable), et on recommande de donner aux lits une épaisseur totale de $1^{m},40$ environ.

Si le matériel employé est plus volumineux, il faudra donner aux lits une épaisseur plus grande et réserver les scories les plus fines pour la surface.

Théoriquement, le mode de distribution adopté à *Chesterfield* est le plus parfait, mais il coûte excessivement cher, et on peut lui reprocher de répandre dans l'air avoisinant des odeurs trop désagréables. Les autres appareils distributeurs basés sur le principe du tourniquet hydraulique présentent d'ailleurs les mêmes inconvénients, quoique à un moindre degré.

Le tableau ci-après indique comparativement, pour cinq villes anglaises, les résultats moyens d'analyses de l'effluent de lits bactériens percolateurs, travaillant régulièrement à raison de 1200 litres par mètre carré et par jour :

	Azote albuminoïde par litre.	Oxygène absorbé en 5 minutes.		Nitrates.
		Avant incubation	Après incubation	
	—			—
Langwith	0,0002	0,0005	0,0005	$0^{gr},004$
Chesterfield. . . .	0,0006	0,0001	0,0001	$0^{gr},018$
Long Eaton. . . .	0,0008	0,0001	0,0001	$0^{gr},006$
Buxton	0,0005	0,0001	0,0001	$0^{gr},0025$
Dronfield.	0,0005	0,0009	0,0007	$0^{gr},015$

La nature de ces effluents confirme pleinement les conclusions de la « *Royal Commission on Sewage Disposal* » que « *seuls, les procédés artificiels permettent d'obtenir une épuration telle que les eaux ne sont plus putrescibles et peuvent être rejetées dans les cours d'eau sans risques de nuisance* ».

*
* *

Nous verrons, d'autre part, dans un prochain chapitre, qu'à *Columbus* (*Ohio, États-Unis*) le fonctionnement des lits percolateurs a été très bien étudié comparativement avec celui des lits de contact.

L'eau du tout à l'égout de cette ville, préalablement fermentée en fosse septique et distribuée par des becs pulvérisateurs fixes sur des lits de *pierre concassée* de $1^m,50$ de profondeur (la projection de l'eau s'effectuant à environ $1^m,20$ de hauteur au-dessus du lit[1], sort très bien épurée et non putrescible, avec un débit de 22 500 mètres cubes par hectare et par jour, soit 2250 *litres par mètre carré et par jour* !

L'odeur, au voisinage des lits, est désagréable, mais elle n'est plus perceptible à une distance de 400 mètres.

Quoique l'effluent ne soit pas putrescible, il est plus ou moins louche, et cela est dû à ce que des particules solides, détachées à intervalles irréguliers des matériaux filtrants, s'échappent et forment de très légers filaments ou *films*. On a réussi à éliminer par sédimentation la plupart de ces particules, en recueillant l'eau épurée dans des bassins où elle séjourne environ deux heures avant d'être évacuée à la rivière. Le volume du sédiment contenant environ 90 pour 100 d'eau est en moyenne de $0^{mc},20$ *pour* 1000 *mètres cubes et par an.*

Avec ce procédé d'épuration on peut compter que 90 pour 100 au moins des bactéries présentes dans l'eau d'égout brute sont éliminées.

*
* *

Nous devons donc conclure que, *sauf dans les cas où les circonstances locales imposeraient le système des lits de contact, on doit toujours adopter de préférence les lits bactériens à percolation.*

CHAPITRE IV

FOSSES SEPTIQUES ET LITS BACTÉRIENS PERCOLATEURS

Règles générales à suivre pour leur construction et leur fonctionnement.

Notre livre étant destiné à servir de guide aux ingénieurs sanitaires comme aux hygiénistes pour l'établissement ou le contrôle des installations d'épuration biologique, nous croyons nécessaire de réunir dans deux chapitres spéciaux tous les renseignements qui peuvent leur être utiles sur la construction et le fonctionnement des fosses septiques et des lits bactériens.

Deux cas peuvent se présenter :

1° Ou bien la ville dont il s'agit d'épurer les eaux d'égout ne possède pas de réseau utilisable ;

2° Ou bien il existe déjà un réseau d'égout du système *unitaire*, collectant à la fois les eaux-vannes et les eaux pluviales.

Dans le premier cas, il n'est plus permis d'hésiter entre le choix du système *séparatif* et celui du système *unitaire*.

Le système *unitaire* présente les très graves inconvénients que voici résumés :

1° Ils nécessitent un large éventrement des rues parce qu'ils ne peuvent être construits qu'en maçonnerie ou au moyen de canaux en ciment de grand diamètre, car leur capacité doit être suffisante pour recevoir les eaux pluviales des toitures et des rues, dont le volume est fréquemment cinquante fois supérieur à celui des eaux-vannes ;

2° Ils coûtent extrêmement cher comme frais de premier établissement et comme frais d'entretien, parce qu'ils entraî-

nent l'obligation d'installer partout des bouches d'égout spéciales pour éviter le reflux des mauvaises odeurs, et un grand nombre de descentes et de regards permettant d'effectuer des nettoyages incessants;

3° Ils exigent une dépense d'eau énorme pour assurer en temps sec l'évacuation des matières et la fermeture hydraulique des tuyaux de chute. Lorsque l'eau vient à manquer, les communications entre les égouts et les habitations s'établissent et les matières restent accumulées dans les tuyaux de chute au lieu d'être entraînées. C'est ce qui est arrivé à Paris pendant l'été de 1900;

4° Ils saturent les sous-sols de gaz malodorants et putrides qui traversent les maçonneries et les ciments les plus compacts;

5° Ils rendent l'épuration des eaux d'égout beaucoup plus difficile et coûteuse, en raison des variations considérables de leur débit et parce qu'ils entraînent les sables, terres et graviers des voies publiques;

6° Enfin, ils nécessitent l'établissement de *déversoirs* d'orage, permettant d'évacuer directement leur trop-plein dans les rivières lors des grandes averses. Ils constituent donc une menace incessante de pollution pour les cours d'eau.

*
* *

Au contraire, les réseaux *séparatifs* collectent dans une canalisation *séparée* exclusivement les eaux-vannes et les matières de vidange dont le volume, pour un même nombre d'habitants, reste d'une constance remarquable. On peut donc les admettre dans de simples tubes de fonte, ou même de grès, dont le diamètre varie de 15 à 40 centimètres au maximum et auxquels il est, par suite, aisé de donner des pentes plus considérables. Les frais de première installation et les dépenses d'entretien en sont beaucoup réduits, car il n'est plus nécessaire d'éventrer les rues; on peut les poser dans de simples tranchées.

Les matières y sont facilement entraînées par la pente et par les chasses automatiques qu'on établit aux points culminants de chaque secteur. Il en résulte que la consommation d'eau est très peu importante.

Les faibles dimensions des tuyaux et les chasses fréquentes qui les balayent empêchent le dépôt des corps lourds et suppriment totalement la *pullulation des rats*.

Grâce à l'emploi du métal ou du grès verni, on évite toute possibilité de diffusion d'odeurs ou de gaz méphitiques.

Enfin, et surtout, le volume des eaux-vannes étant toujours à peu près le même pour 24 heures, on peut l'épurer en totalité dans les meilleures conditions économiques, et on ne risque jamais d'être obligé de polluer les rivières en cas d'orages.

*
* *

Examinons donc tout d'abord le cas d'une ville dans laquelle il s'agit d'installer de toutes pièces un réseau d'égout, ou dans laquelle le réseau actuel ne peut être utilisé que pour l'évacuation des eaux pluviales.

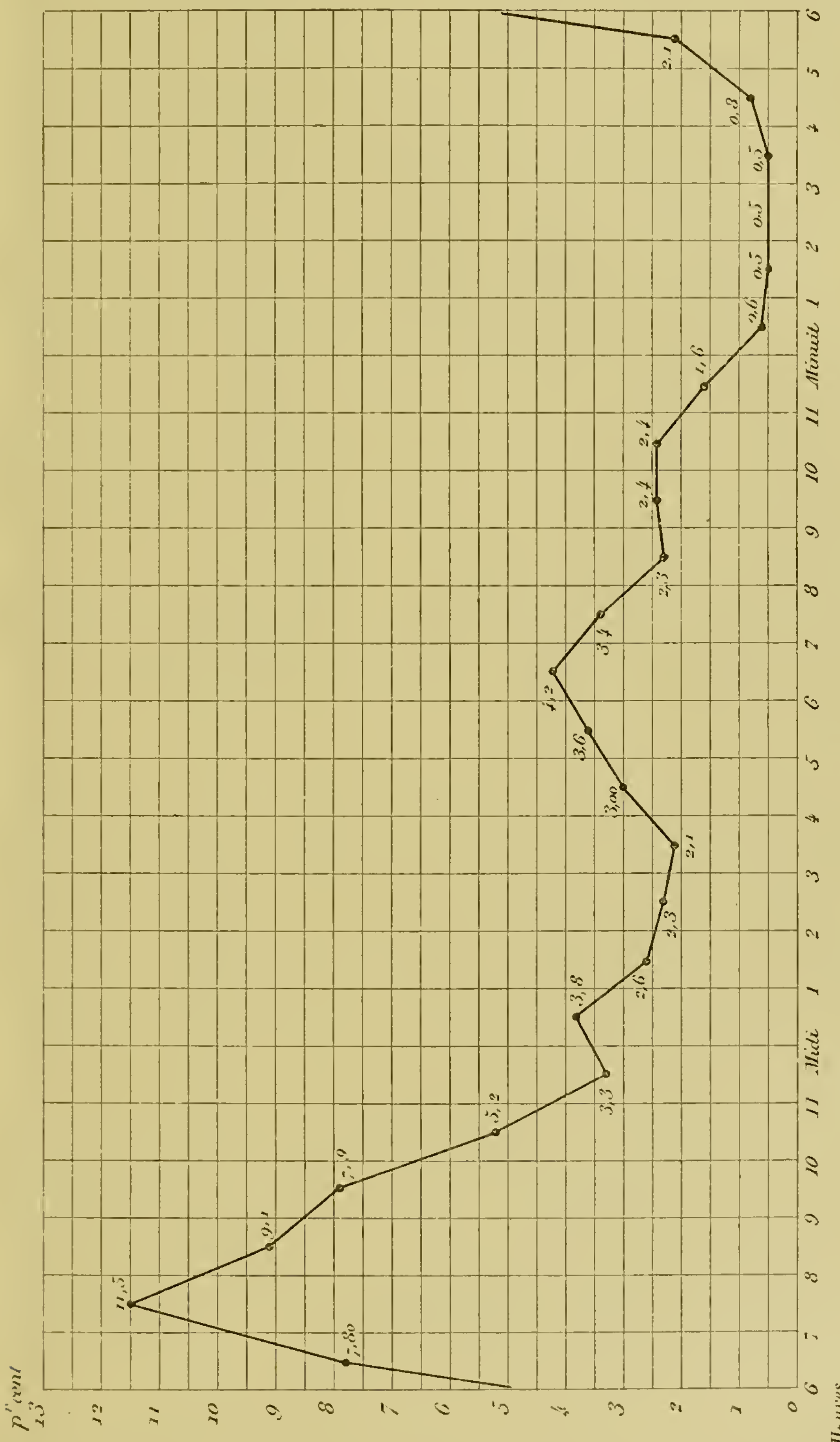
Le système séparatif s'imposant ici, pour les raisons multiples que nous venons d'indiquer, la première information à prendre est celle relative au volume moyen d'eaux-vannes produites en 24 heures.

Ce volume est extrêmement variable, suivant les heures de la journée, mais, dans la plupart des villes, les grandes oscillations se produisent aux mêmes heures, et à peu près exactement comme l'indique la courbe ci-après (page 53).

On doit admettre, d'autre part, que dans une ville de 50 000 habitants, par exemple, qui produit environ 5000 mètres cubes d'eaux-vannes par jour, celles-ci se répartissent comme suit, d'après leur provenance :

	Litres par personne.
Propreté corporelle, lavabos, toilette.	16,5
Water-closets, urinoirs, etc.	15
Lavage des légumes, des assiettes, etc.	6,5
Lavage des habitations, cours, cuisines	10
Boisson et cuisine..	5,5
Bains (1 bain par personne et par mois, soit 10 litres par jour).	10
Lavage du linge.	11
Divers écoulements continus, urinoirs publics, fuites, réservoirs de chasse, petites industries (boulangers, pâtissiers, etc.).	11
Écuries, remises, lavage des fils d'eau.	16,5
Soit au total (par habitant et par jour). . .	100 l.

Ces 100 litres entraînent donc tous les *excreta* individuels



Courbe montrant les variations horaires de débit dans un égout séparatif.

et ménagers contenant, en moyenne pour chaque habitant,

1100 grammes d'urines et 90 grammes de matières fécales à l'état frais (ensemble 80 grammes de matières sèches). Les 5000 mètres cubes journaliers contiendront, en tenant compte des excrétions des animaux domestiques (chevaux et vaches) et des résidus ménagers, 550 kilogrammes de matières sèches, organiques ou minérales, soit 550 grammes par mètre cube.

En conséquence, l'installation d'épuration devra prévoir :

1° Une chambre à sable de 250 mètres cubes de capacité précédée de grilles pour arrêter les corps volumineux, et divisée en deux compartiments S et S' pour que l'un de ceux-ci puisse être dragué lorsqu'il en sera besoin, sans interrompre le service (*fig.* 9);

2° Une fosse septique de 5000 mètres cubes de capacité, disposée comme l'indique la figure 9, de manière à faire parcourir à l'eau le plus long trajet possible avec un courant ne dépassant pas 40 millimètres à la minute;

3° Un filtre à grosses scories ou à gros cailloux F que l'eau sortant de la fosse septique traversera de bas en haut avant de s'écouler dans le déversoir d'évacuation DD. La capacité volumétrique de ce filtre sera d'environ 100 mètres cubes.

A. **Fosses septiques** (*fig.* 9). — On donnera à la fosse septique une profondeur de 4 mètres au point le plus bas en B et une profondeur de 3^{m},50 au point le plus élevé CC. Le fond sera disposé avec une pente de 0^{m},02 par mètre en CE et de 0^{m},10 par mètre en EB pour faciliter l'accumulation des boues dans la cuvette B où plonge un tuyau coudé M de 0^{m},25 de diamètre, débouchant à l'extérieur en V par une vanne de vidange.

Les quatre compartiments longitudinaux de la fosse pourront être avantageusement subdivisés par des chicanes transversales *abcd*, émergeant de 0^{m},10 au-dessus du niveau du liquide, et plongeant jusqu'à 0^{m},60 du fond, et par d'autres chicanes noyées *ghikl* partant du fond jusqu'à 1 mètre au-dessous de la surface. Il est important que ces dernières n'aillent pas tout à fait jusqu'au fond afin de permettre aux boues de glisser vers B.

En *n* et *n'* les cloisons longitudinales, pour la même raison, seront largement fenêtrées à leur base jusque vers E.

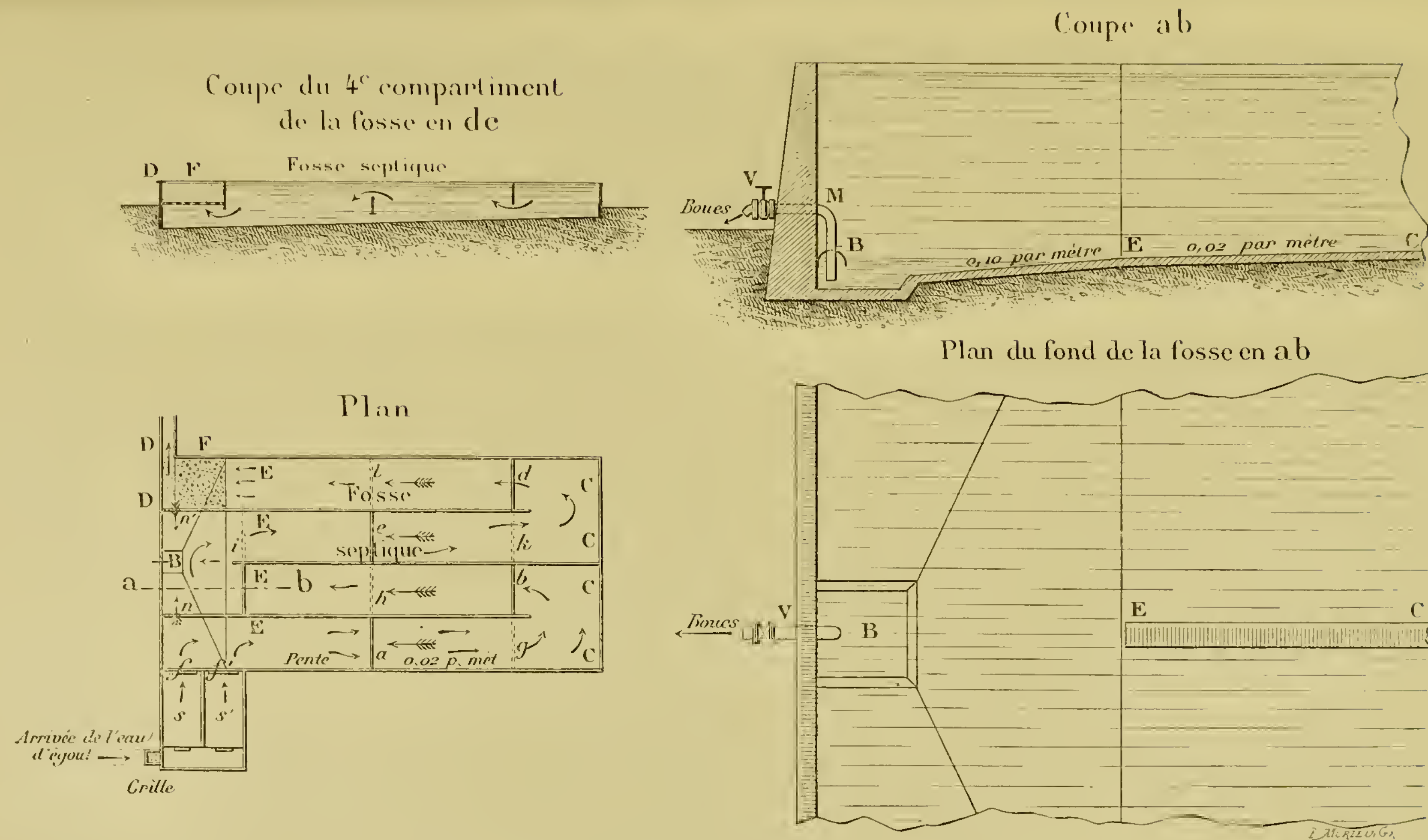


Fig. 9. — Dispositifs pour la construction des fosses septiques.

Suivant les circonstances, la fosse septique pourra être construite en élévation au-dessus du sol ou en excavation. Cela dépendra du mode d'amenée des eaux, soit par gravitation, soit par pompage ou refoulement, et de la disposition du terrain.

Il est inutile de la couvrir, puisque l'expérience nous a appris que les fermentations anaérobies s'effectuaient tout aussi bien à l'air libre.

Si les eaux sont riches en graisses, on empêchera la mobilisation de ces dernières sous l'influence des vents en fixant transversalement, tous les 5 ou 6 mètres, des planches en bois qui plongeront seulement de quelques centimètres dans le liquide et dont la tranche émergera au-dessus de la surface.

Il ne serait indiqué de couvrir la fosse que dans le cas où, par suite du voisinage immédiat d'habitations, la nécessité s'imposerait d'éviter les odeurs. La couverture peut alors être construite soit en voûtes, soit en ciment armé. On la garnira d'une couche de $0^m,20$ de terre végétale semée de gazon et on aura soin d'y ménager quatre trous d'homme et quatre cheminées (un trou d'homme et une cheminée pour chaque compartiment longitudinal) destinés, les premiers aux réparations éventuelles, les secondes à l'évacuation des gaz. Ces cheminées auront $0^m,10$ de diamètre et 3 ou 4 mètres de hauteur.

Un procédé très simple et économique pour couvrir les fosses de petites dimensions consiste à les protéger par de simples planches sur lesquelles on étale une couche peu épaisse de tourbe. Cette substance absorbe parfaitement les gaz mal odorants.

Le filtre F disposé à l'extrémité du dernier compartiment longitudinal doit être immergé seulement jusqu'à $1^m,50$ de profondeur. Il est destiné à retenir dans la fosse les particules de matière organique incomplètement dissoutes qui ne doivent pas être entraînées dans l'effluent sous peine d'amener peu à peu le colmatage des lits bactériens.

Fonctionnement des fosses septiques. Dépôt et évacuation des boues. — Lorsqu'on remplit pour la première fois une fosse, elle fonctionne d'abord comme simple bassin de décantation. Les matières lourdes s'y déposent par ordre de densité et les

matières légères (graisses, débris de légumes, bouchons, etc.) viennent flotter à la surface.

Peu à peu, en 10 à 20 jours suivant la saison (plus rapidement en été qu'en hiver), la fermentation septique s'y établit. On ne tarde alors pas à voir apparaître des bulles de gaz de plus en plus nombreuses qui viennent crever à la surface et, dans les premiers compartiments, les graisses flottantes s'accumulent en formant un chapeau plus ou moins épais.

Au bout d'un mois environ, le levain de microbes anaérobies s'est constitué et la solubilisation des matières organiques azotées marche de pair avec la gazéification des matières hydrocarbonées. Dès lors il n'y a plus à intervenir, si ce n'est pour effectuer périodiquement la vidange des *boues*.

Celles-ci sont de deux sortes. Les unes, accumulées dans les fosses à sable et composées surtout de matières minérales lourdes (débris de charbon, cendres, graviers et scories de cuisines), doivent être extraites aussi souvent qu'il est utile, dès qu'on s'aperçoit que la capacité volumétrique de ces fosses est réduite environ d'un tiers.

Les autres, échappées aux fosses à sable, sont principalement formées d'argile ou de poussières minérales très fines, mélangées à des débris de cellulose ou de substances organiques particulièrement résistantes à la putréfaction (poils, déchets de laine ou de coton, fragments de cuir ou de tissus, etc.).

A la longue, elles finissent par former au fond de la fosse septique une couche dense, assez épaisse, et elles tendent à s'accumuler dans la cuvette B. Lorsque leur volume devient assez considérable, — ce dont il est facile de se rendre compte par la résistance que l'on éprouve en y enfonçant un bâton terminé par une palette plate, — il est nécessaire de les évacuer.

Il suffit alors d'ouvrir la vanne V. La pression du liquide sur les boues oblige celles-ci à s'échapper au dehors. On les dirige dans un bassin d'égouttage disposé à cet effet à côté de la fosse et creusé directement dans le sol, entre talus de terre.

Ces boues, de couleur noire très foncée, ne dégagent aucune odeur nauséabonde : elles s'égouttent et se dessèchent avec une grande facilité et, lorsqu'elles ne renferment plus

que 50 pour 100 d'eau environ, elles ressemblent à de la tourbe.

On peut les livrer sans autre préparation aux cultivateurs comme amendement pour les sols argileux, ou bien on en fait des briquettes pour les brûler.

La quantité de boues qu'on doit ainsi extraire des fosses septiques est naturellement très variable suivant les localités et suivant la nature des résidus que charrient les eaux d'égout.

Avec le système *séparatif*, elle ne dépasse généralement pas un *dixième* de l'ensemble des matières en suspension. Or, le poids total de celles-ci s'élevant à 9^{kg},550 par mètre cube environ (à 85 pour 100 d'eau ou 110 grammes à l'état sec), on comptera sur une accumulation quotidienne de 955 grammes ou environ 1 kilogramme par mètre cube, soit 5 tonnes par jour pour 5000 mètres cubes.

En se basant sur ces chiffres, qu'il sera toujours prudent de vérifier par quelques essais préliminaires, on fera sagement d'évacuer tous les mois environ 150 tonnes de boues, en ouvrant la vanne V. On assurera ainsi le fonctionnement aussi régulier que possible de la fosse septique et sa capacité volumétrique ne sera jamais sensiblement amoindrie.

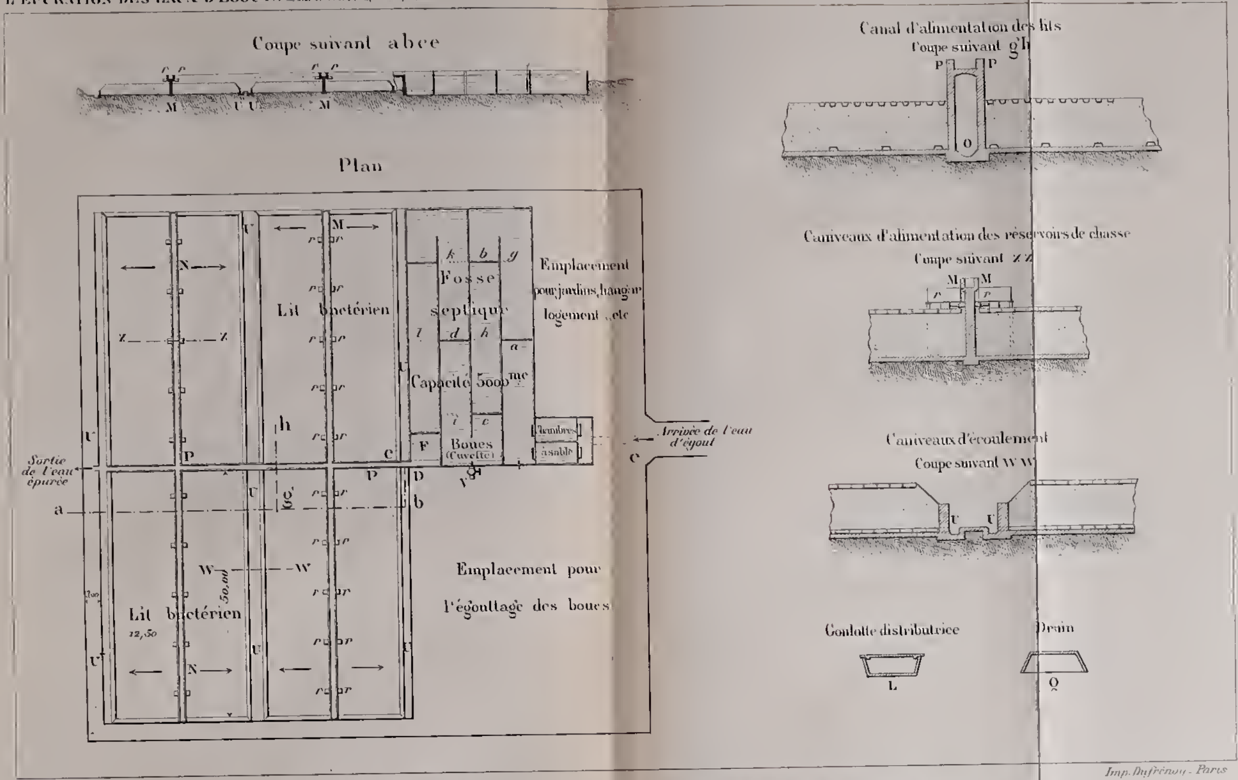
*
* *

Lorsqu'il s'agira d'épurer les eaux d'égout d'un réseau *unitaire*, la grande quantité de sable, de terre et de gravier entraînés obligera à prévoir une décantation plus parfaite avant l'entrée du liquide en fosses septiques.

On multipliera donc les grilles et les chambres à sable, ou bien on donnera à ces dernières une capacité plus grande, soit environ 1/10 du volume total de l'effluent quotidien.

Les fosses septiques elles-mêmes doivent être assez vastes pour contenir, en cas de pluie, un volume supérieur d'un tiers environ au débit normal des jours secs.

Enfin le canal d'amenée des eaux d'égout dans les fosses à sable sera pourvu d'un déversoir réglé de manière à diriger sur un *filtre d'orage* toute la quantité d'eaux pluviales mélangées d'eaux d'égout supérieure à la capacité des fosses septiques.



E. Morieu, Gr. Imp. Dufrénoy - Paris

PLAN SCHÉMATIQUE POUR UNE INSTALLATION CAPABLE D'ÉPURER 5000 MÈTRES CUBES PAR JOUR.

Avec le système *unitaire*, il est de règle, dans les installations anglaises, que les fermentations anaérobies ne parviennent guère à dissoudre ou à gazéifier plus de 50 pour 100 des matières en suspension. Il sera donc indispensable d'opérer plus souvent la vidange des boues et de prévoir un bassin d'égouttage plus étendu.

Les autres dispositions restent d'ailleurs les mêmes.

B. **Lits bactériens percolateurs** (*planche II*). — La construction des lits bactériens *percolateurs* est infiniment plus simple que celle des *lits de contact*. Il n'est nullement indispensable de les enfermer entre des murs épais et cimentés, puisque l'eau ne fait que les traverser par égouttage et qu'elle n'y séjourne pas. Il est même plus avantageux de les disposer simplement en talus, avec des bords inclinés à angle de 45° environ. Les maçonneries se réduisent alors aux murs qui supportent les canaux de distribution de l'eau à épurer et les réservoirs de chasse.

Le sol devra être rendu imperméable par une couche de béton et disposé en pente de 2 centimètres par mètre de chaque côté des arêtes principales MM, NN, dans le sens indiqué par les flèches (*planche* II).

Le mur d'arête CP porte le caniveau de distribution par lequel l'eau est répartie entre MM et NN. La coupe suivant *gh* montre comment doit être construit ce mur entre les deux parois duquel on peut circuler en O.

Les caniveaux MM et NN reposent sur des murs pleins.

De chaque côté de MM et de NN sont disposés les réservoirs de chasse *rrr*, comme l'indique la coupe suivant ZZ, et les nochères distributrices sous-jacentes, semblables à celles que nous avons déjà décrites à propos de l'installation de *la Madeleine*.

La coupe suivant WW montre la disposition en talus des lits, les murettes qui soutiennent les talus de mâchefer et l'un des caniveaux d'écoulement UU par lesquels s'échappe l'eau épurée.

Ces caniveaux, larges d'un mètre, se composent de deux rigoles et d'un chemin de ronde.

La base des murettes de soutènement des scories est cri-

blée d'ouvertures par lesquelles l'eau s'écoule après avoir traversé le lit.

Sur le fond du lit, parallèlement aux rigoles d'égouttage, on dispose des drains (O) espacés de 1 mètre les uns des autres. Ces drains servent à l'évacuation de l'eau et à celle de l'acide carbonique qui se produit toujours en assez grande quantité pendant le travail d'oxydation.

La coupe suivant *abce* indique l'aspect général des deux lits par rapport à la fosse septique.

Les scories qui servent à constituer les lits doivent être criblées et débarrassées de poussières. Sur les drains, on étalera d'abord une couche de grosses scories, sur environ 20 centimètres de hauteur. Le reste n'a pas besoin d'être trié.

A la surface, perpendiculairement aux arêtes MM et NN et de chaque côté de celles-ci, on ménagera une légère pente pour assurer l'écoulement facile de l'eau dans les goulottes de distribution qui pourront être constituées soit par de simples briques creuses, soit, de préférence, par des goulottes spéciales, à couvercle mobile, figurées en L.

Pour épurer 5000 mètres cubes par jour, la surface de lits bactériens nécessaire est, au maximum, de 5000 *mètres carrés.* On pourra donc donner à chacun des deux lits, à leur surface, une longueur de 100 mètres, une largeur de 25 mètres et une épaisseur de $1^{m},75$. Les rigoles d'égouttage courant à la surface, de chaque côté des arêtes MM et NN, auront donc une longueur de $12^{m},50$.

L'effluent de la fosse septique, déversé en D dans le caniveau central PP, se répartit, au fur et à mesure de son arrivée, entre les deux caniveaux MM et NN, et tombe dans les réservoirs de chasse dont la vanne d'entrée doit être réglée une fois pour toutes, de manière que chaque réservoir mette *au moins* dix minutes à se remplir.

Si chaque réservoir de chasse a 1 mètre cube de capacité et s'il est réglé pour fonctionner au maximum 6 fois par heure, il déversera 6 mètres cubes à l'heure sur un espace de 125 mètres carrés que sa nochère distributrice doit alimenter.

Les 40 réservoirs pourront donc débiter à l'heure 40 mètres cubes $\times 6 = 240$ mètres cubes et, par 24 heures, 5760 mètres cubes.

C. **Coût de l'installation** [1]. — 1° *Terrain.* — La surface totale nécessaire pour l'installation *type* d'épuration biologique que nous venons de décrire et dont la capacité de travail est de 5000 mètres cubes d'eau d'égout par jour s'élève, avec de larges prévisions, à 12 000 *mètres carrés* qui se décomposent comme suit :

Surface des lits bactériens, y compris les talus.	5 400 m²
Fosses à sable, fosse septique, caniveaux et chemins.	2 700 m²
Emplacement pour l'égouttage des boues, logement du gardien et réserves.	3 900 m²
Total. . . .	12 000 m²

1° Au prix moyen de 3 000 fr. l'hectare, la valeur de ce terrain est de.	3 600 fr.
2° *Terrassements et transport de terres* environ 7 005 mètres cubes à 1 fr.	7 005 fr.
3° *Maçonneries.* — 1573^{mc},20 à 20 fr.	31 464 fr.
4° Caniveaux en briques, enduits et béton . .	38 960 fr.
5° Drains et goulottes.	6 000 fr.
6° Arrangement des chemins	2 500 fr.
7° Appareillage (vannes, siphons percolateurs, réservoirs de chasse, goulottes de distribution, regards, etc.), à 10 fr. le mètre cube. .	50 000 fr.
8° Scories sur 1^{m},75 de hauteur à 3 fr. le mètre cube, 9 100 mètres cubes.	27 300 fr.
9° Divers et imprévus.	2 173 fr.
Total. . . .	168 000 fr.

Les frais de premier établissement ressortent donc à 33^{fr},50 *par mètre cube d'eau à épurer*. Mais il est bien évident que ces chiffres doivent être majorés ou réduits suivant la valeur des matériaux et le prix de la main-d'œuvre dans les diverses localités.

D. **Lits bactériens percolateurs à sprinklers.** — Les dispositifs à adopter pour l'installation des lits bactériens à *sprinklers*, d'après les divers systèmes anglais, sont suffisamment indiqués par les descriptions que nous en avons faites, pour que nous jugions inutile de nous étendre davantage à leur sujet.

[1] Les renseignements qui suivent nous ont été obligeamment fournis par M. Le Noan, conducteur des ponts et chaussées et par M. Degoix, ingénieur à Lille, qui nous ont prêté leur concours pour nos travaux de construction de la station expérimentale de la Madeleine. Ils sont basés sur les prix de série adoptés dans le département du Nord.

Les meilleurs de ces dispositifs sont ceux que le Dr *Barwise* vient de faire installer à *Derby*. Ils sont représentés schématiquement par la figure 10 empruntée à M. *Adams*, constructeur des sprinklers.

Leur coût est considérablement plus élevé. En n'y comprenant pas l'achat du terrain, on compte qu'une installation

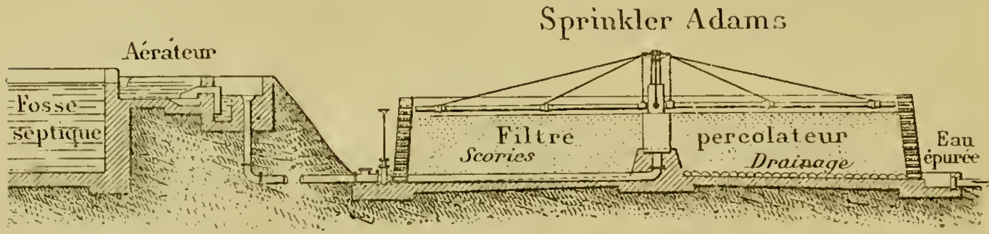


Fig. 10. — Schéma d'une installation d'épuration biologique avec distribution par sprinkler.

capable de traiter 5000 mètres cubes par jour nécessite en moyenne une dépense de 350 000 francs, et pour 1000 mètres cubes par jour 80 000 francs, ce qui fait ressortir le prix du mètre cube respectivement à 70 et à 80 francs.

Quel que soit le système de percolation adopté, il est évident que les dépenses d'installation sont d'autant plus grandes que le volume d'eau à épurer est plus petit. Pour un débit quotidien de 100 mètres cubes par exemple, elles s'élèvent à 150 francs par mètre cube avec les sprinklers et à 60 francs environ avec les siphons de chasses intermittentes.

E. **Remplacement des scories par d'autres matériaux.** — Dans certaines régions de la France il est très difficile de se procurer des scories ou mâchefer en quantités suffisantes pour établir des lits bactériens.

Il n'est donc pas inutile d'indiquer que, si ce matériel fait défaut, bien que ses qualités de porosité et de résistance doivent le faire préférer à tous autres, on peut à la rigueur le remplacer par des briques concassées ou par des pierres, en choisissant parmi celles-ci les plus irrégulières et les plus poreuses (pierre meulière, schistes, calcaires compacts, pouzzolanes et laves volcaniques) [1].

[1] Les scories ont une capacité pour l'eau très variable suivant leur provenance. 1 kilogramme retient de 45 à 215 grammes d'eau. On doit préférer les plus *dures* et celles qui retiennent le mieux l'eau.

Les pierres lisses (cailloux roulés, silex) ne doivent jamais être employées.

Dans tous les cas, il est recommandable de couvrir la surface des lits ainsi constitués d'une couche de 15 à 20 centimètres de *mâchefer* ou de *coke*.

Le *coke* est un excellent matériel : son seul inconvénient est de coûter trop cher. Mais il est très recommandable de l'employer exclusivement pour les petites installations.

F. **Dépenses d'entretien.** — Les frais que nécessite l'entretien d'une installation d'épuration biologique sont extrêmement minimes, puisqu'il n'y est fait usage d'aucun réactif chimique et que la main d'œuvre est presque nulle. Elle se borne à la manutention périodique des boues, et à un service de gardiennage pour la visite des siphons de chasse et des goulottes de déversement. Il n'est jamais utile de remplacer les scories et celles-ci ne peuvent pas s'encrasser ni se colmater si la fosse septique fonctionne convenablement.

En Angleterre, il existe des lits bactériens à sprinklers et des lits de contact qui sont en service depuis six ans, et dont le matériel filtrant n'a jamais eu besoin d'être changé. On se borne à en ratisser la surface une ou deux fois par an.

L'usage des siphons percolateurs paraît même devoir rendre cette précaution inutile.

En prenant pour base les dépenses accusées par les installations étrangères les plus parfaites, on peut estimer que, pour un débit quotidien de 5000 mètres cubes, il faudra dépenser annuellement pour le gardiennage, les frais de contrôle, la manutention des boues, les réparations et le renouvellement du matériel, environ 20 000 francs par an, soit 0 fr. 40 par habitant.

Au point de vue économique, aucun procédé d'épuration n'est donc plus avantageux.

CHAPITRE V

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE DES EAUX D'ÉGOUT DANS LES PETITES AGGLOMÉRATIONS RURALES, DANS LES MAISONS PARTICULIÈRES, DANS LES HOPITAUX ET LES ÉTABLISSEMENTS COLLECTIFS. — FOSSE MOURAS.

Dans une ville moderne, soucieuse de protéger la santé de ses habitants, il est indispensable que les déchets de la vie (déjections, eaux-vannes et ordures ménagères) soient éloignés le plus vite possible et rendus inoffensifs.

Pour ce qui est de l'enlèvement des ordures ménagères, l'idéal est de les détruire par le feu au moyen des fours à incinérer dont l'usage ne s'est malheureusement pas encore répandu en France, malgré les exemples pourtant déjà nombreux que nous donnent la plupart des grandes agglomérations urbaines, aux États-Unis, en Angleterre, en Allemagne, en Belgique et en Hollande.

Il est inconcevable que nous soyons si obstinément fidèles à cette pratique éminemment insalubre qui consiste à manipuler les ordures ménagères à l'état *cru*, pour les transformer en engrais de valeur médiocre, alors que nous pourrions en tirer le plus souvent un profit égal ou supérieur, en les brûlant et en utilisant leur chaleur de combustion pour produire de l'énergie calorifique ou électrique.

Mais ce n'est point ici le lieu d'insister sur ce sujet. Disons seulement que plusieurs villes étrangères ont trouvé très avantageux de construire des fours à incinérer (*destructors*) et de se servir des résidus d'incinération, sous forme de mâchefer, pour créer des lits bactériens destinés à l'épuration biologique de leurs eaux d'égout. D'autres font mieux encore: elles transforment la chaleur de combustion de ces fours en air comprimé

qui refoule ces mêmes eaux d'égout au moyen d'éjecteurs Shone, soit en mer, au large des côtes, soit à une usine d'épuration (Londres, Southampton, Manchester, Eastbourne, Monaco, etc.).

Cette solution économique et hygiénique s'imposera évidemment tôt ou tard dans notre pays.

Quant aux eaux-vannes et aux matières de vidange, nous avons déjà expliqué pourquoi il est avantageux de les recueillir dans un réseau d'égout *séparatif*, d'éviter leur mélange avec les eaux pluviales et de les épurer par le seul procédé qui permet la désintégration totale et la minéralisation des substances organiques putrescibles qu'elles renferment, c'est-à-dire *par les actions microbiennes*.

Mais, lorsqu'il s'agit des maisons particulières situées à la campagne par exemple, ou des petites agglomérations rurales, ou encore des établissements collectifs isolés (hôpitaux ou hospices, casernes, collèges, prisons, etc.), qu'il est impossible de relier à un réseau de tout à l'égout, comment pourra-t-on s'y prendre pour supprimer l'usage des fosses fixes, nids à mouches et à pestilences dont les émanations empoisonnent l'atmosphère et dont les infiltrations polluent les nappes d'eau souterraines et les puits du voisinage ?

Ici encore la routine séculaire veut qu'on ne laisse rien perdre de ces substances riches en azote et qu'on les restitue au sol *en nature*, sous forme d'*engrais flamand*. Dans certains pays tels que le nord de la France, on les épand périodiquement sur les terres cultivées ou dans les jardins, sans souci des dangers que cette pratique coupable fait courir à la santé publique.

Le but qu'il s'agit d'atteindre pour sauvegarder l'hygiène est de ne restituer au sol les déchets de la vie des hommes et des animaux qu'*après* les avoir minéralisés. Toute la question est là. Peut-on y parvenir pratiquement ?

Oui, sans doute, si l'on réussit à combiner les appareils qui permettent de réaliser, sur de petites masses de matières, les mêmes séries de désintégrations successives que les microbes anaérobies et aérobies accomplissent sur de grandes masses des mêmes matières, dans les installations urbaines d'épuration biologique.

Au cours de ces dernières années, plusieurs inventeurs ont cherché à résoudre ce problème. Et c'est ainsi que nous avons vu prôner tour à tour la *fosse Mouras*, puis ses nombreuses imitations (fosses à vidange automatique, fosse simplex, etc.).

Le lecteur connaît déjà suffisamment le principe de la *fosse*

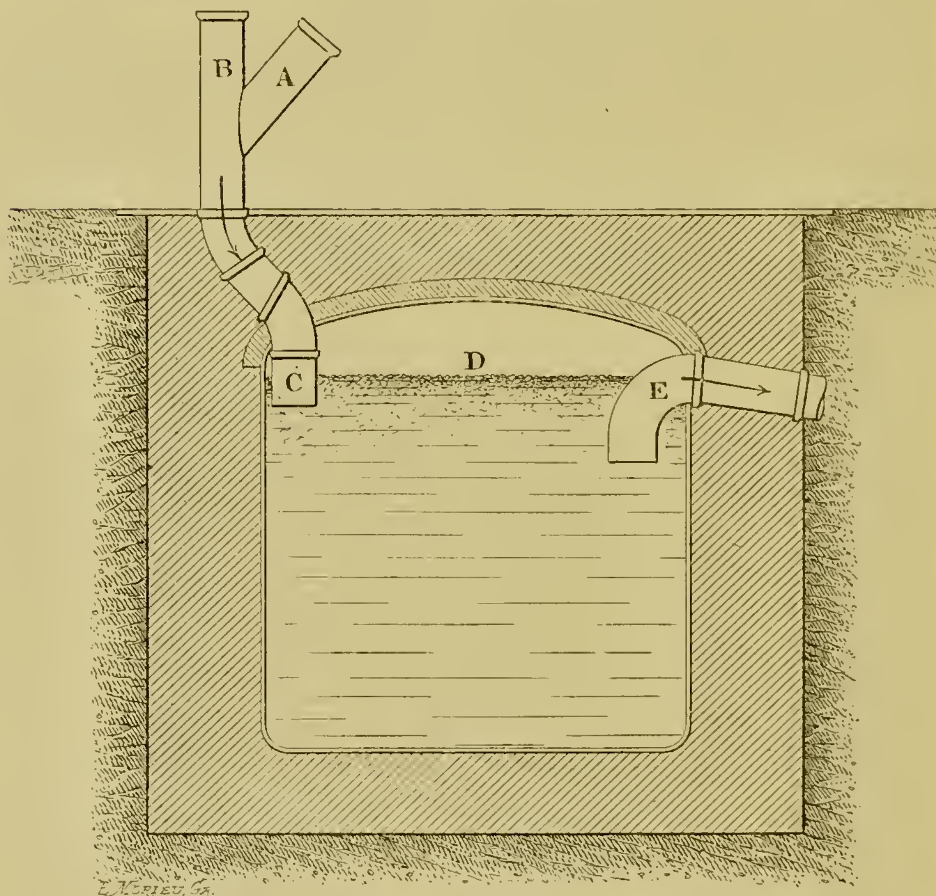


Fig. 11. — Fosse Mouras.

A. Tuyau de chute.
B. Tuyau d'évent (plongeant de quelques centimètres dans la matière en C).
D. Chapeau formé par les matières en fermentation.
E. Tuyau de déversement à l'égout ou au champ d'irrigation.

Mouras : elle était constituée tout simplement, à ses débuts déjà anciens (1881) [1], par une fosse fixe, d'une capacité égale à environ *un dixième de mètre cube* par personne à desservir, aussi étanche que possible, toujours pleine de matières provenant des water-closets, et munie d'un tuyau de chute plongeant et d'un déversoir de trop-plein.

[1] Brevet n° 144.904 du 22 septembre 1881 : « Vidangeuse automatique et inodore » de Louis Mouras, de Vesoul.

Cette fosse devenait, quelques semaines après sa mise en œuvre, le siège de fermentations actives aboutissant à la solubilisation des matières qui s'y accumulaient. A la surface du liquide, les substances les plus légères venaient former une sorte de chapeau plus ou moins épais ; au fond, les substances les plus lourdes se déposaient et se liquéfiaient peu à peu (*fig.* 11).

La zone intermédiaire ne renfermait bientôt plus qu'un liquide d'un jaune ambré, légèrement louche, peu odorant, riche en ammoniaque. C'est dans celle-ci que plongeait le tuyau de déversement.

Au fur et à mesure que l'on déversait dans la fosse de nouvelles quantités de matières, un volume égal de liquide s'échappait par le déversoir ; et ce liquide, à demi épuré, pouvait être employé très utilement en irrigations sur le sol. Il ne présentait plus les inconvénients ni les dangers de l'épandage des substances putrescibles et il gardait toute la valeur de celles-ci comme engrais.

La fosse Mouras ([1]), vulgarisée par l'abbé Moigno (1883), ne tarda pas à recevoir de nombreuses applications même dans certaines villes (Bordeaux par exemple) qui, ne pouvant se résoudre à tolérer le déversement des vidanges dans leurs égouts à cause de leur trop faible pente, croyaient trouver, en l'adoptant, le moyen de propager l'usage des water-closets à chasses d'eau et de satisfaire ainsi les exigences de l'hygiène.

Les modifications diverses que l'on a faites à la *fosse Mouras*, depuis 1883, n'ont rien changé à ses dispositifs essentiels ; quelques-unes cependant présentent certains perfectionnements utiles à connaître.

La fosse septique automatique de *M. Bezault*, par exemple, a l'avantage d'être étanche parce que métallique et hermétiquement close (*fig.* 12). « Sa capacité est de 1^{mc},500 pour dix personnes en moyenne, et elle est divisée en deux compartiments inégaux. Dans le plus grand arrive le ou les tuyaux de chute, plongeant dans le liquide d'une quantité en rapport avec le volume de la fosse. Ce tuyau d'arrivée, de profil spécial, se termine en dauphin, dans le but de répartir les ma-

([1]) Voir *Etude et progrès de l'hygiène en France de* 1878 *à* 1882, par H. Napias et A.-J. Martin. Paris, 1883.

tières, de préférence suivant un plan horizontal et faciliter ainsi leur dispersion dans la masse liquide. La forme de cet orifice est un obstacle de plus aux gaz qui tenteraient, malgré les liquides, de remonter par les tuyaux de chute.

« La cloison séparative a pour but de ralentir le courant

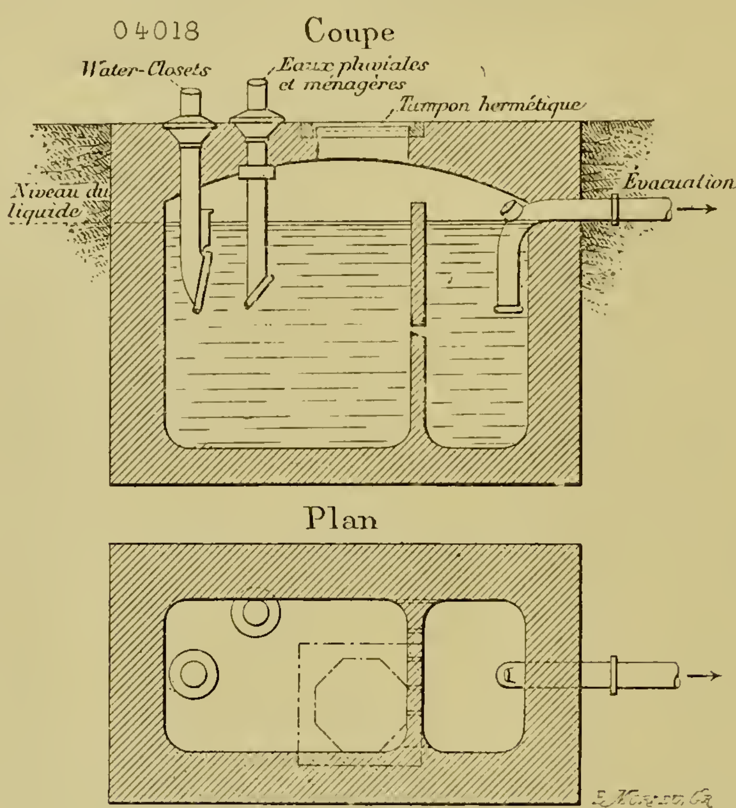


Fig. 12. — Fosse septique automatique (Bezault).

qui pourrait s'établir entre le tuyau d'arrivée et le tuyau de sortie, et aussi d'empêcher le passage des matières dans le compartiment de sortie avant qu'elles soient complètement désagrégées.

« Le passage d'un compartiment dans l'autre s'effectue par de petites ouvertures longitudinales, placées sous la surface du liquide, à une distance qui varie avec le volume de la fosse.

« La tubulure de sortie est coudée et plonge dans le liquide d'une quantité à peu près égale à celle du tuyau d'arrivée; elle porte à l'endroit du coude un petit branchement permettant l'échappement du trop-plein des gaz. »

Cette fosse fonctionne exactement comme celle de *Mouras*,

en solubilisant ou gazéifiant les matières solides des déjections.

Un autre appareil, connu sous la dénomination de *transformateur intégral*, poursuit le même but et, d'après ses inventeurs, réalise en outre l'épuration complète de l'effluent. Il se compose d'une caisse étanche divisée en plusieurs compartiments dits *chambres d'épuration*, communiquant les uns avec les autres. Les matières qui les traversent successivement s'y dissolvent, et le liquide se déverse ensuite en cascade dans une *chambre d'oxydation*, qui, seule, est reliée par canalisation avec l'air extérieur et est remplie de fragments de pierre calcaire concassée. Au sortir de cette dernière chambre, l'effluent doit être inodore et imputrescible ; les matières organiques y sont presque entièrement transformées en nitrates, si le fonctionnement est satisfaisant.

Il existe en France un assez grand nombre d'installations domestiques faites d'après les systèmes qui précèdent. Quelques-unes donnent des résultats convenables, mais il faut reconnaître que beaucoup d'entre elles sont très défectueuses et cela tient à plusieurs causes. La principale est qu'on a trop fréquemment commis cette grave erreur d'y admettre, en même temps que les matières des water-closets à chasses, les eaux ménagères (bains, éviers de cuisines, eaux de lavage) et même parfois les eaux pluviales des toitures (*fig.* 15). Il en résulte que les déjections proprement dites sont trop diluées et qu'elles ne subissent aucune fermentation anaérobie capable de les dissoudre. Les liquides qui s'en échappent alors ont une apparence trompeuse ; ils ne dégagent presque aucune odeur, mais ils renferment une quantité de fines particules de produits mal désagrégés qui fermentent ensuite dans les égouts.

On a également eu le grand tort de vouloir en généraliser l'emploi dans les agglomérations urbaines, en vue de permettre l'évacuation directe des matières plus ou moins solubilisées dans les égouts à faible pente.

Or, il est incontestable que ces *fosses septiques domestiques* produisent une assez grande quantité de gaz mal odorants[1], résultant de la désintégration anaérobie des matières. Si on

[1] Surtout de l'hydrogène sulfuré.

les construit en pierre, en briques ou en ciment (telles l'ancienne fosse *Mouras*), elles ne sont jamais étanches : elles polluent alors les sous-sols par leurs infiltrations, comme les fosses fixes à vidange, et elles infectent l'atmosphère environnante par les produits gazeux qui s'en dégagent.

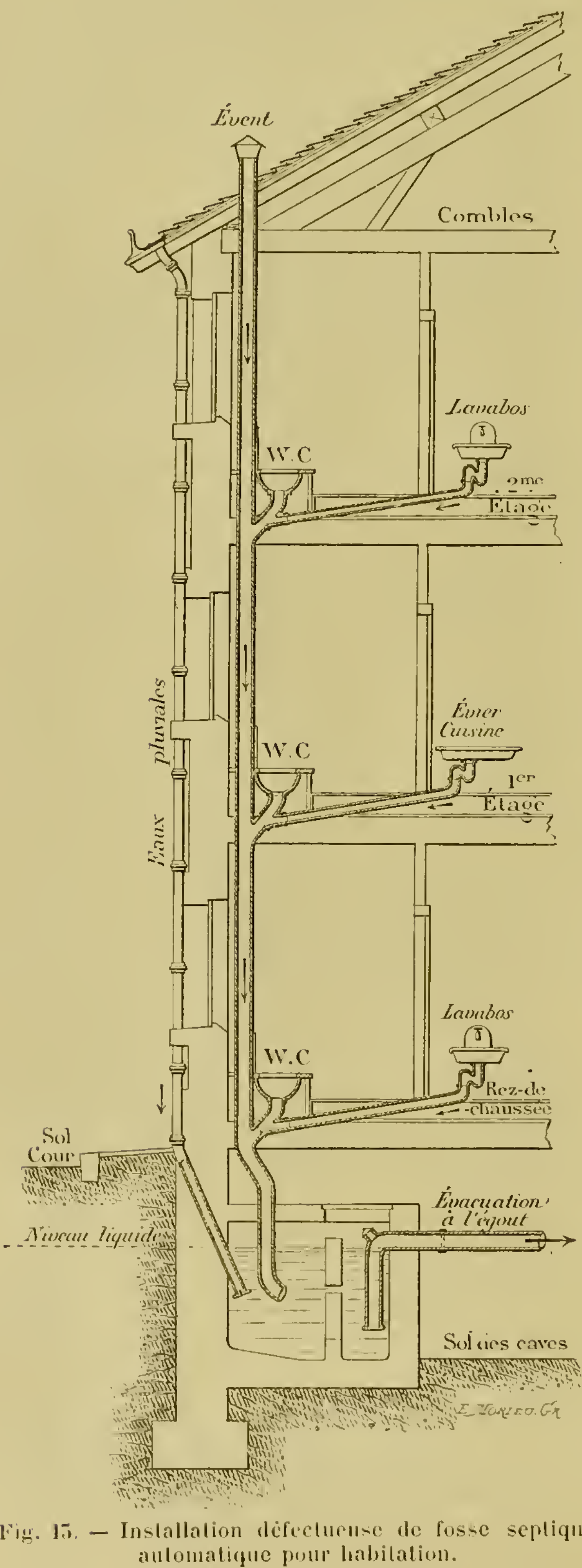


Fig. 15. — Installation défectueuse de fosse septique automatique pour habitation.

Si elles sont étanches, comme la fosse septique automatique de *M. Bezault*, les contaminations du sous-sol et des nappes souterraines ne sont plus à craindre, mais les gaz ne s'en échappent pas moins dans l'air extérieur, soit par des tuyaux d'évent, soit par l'égout.

On comprend tout de suite combien la situation hygiénique d'une ville pourrait être compromise, si l'on tolérait que chaque maison soit munie d'un appareil de ce genre ! Par les temps chauds et calmes de la saison d'été, l'atmosphère deviendrait bientôt irrespirable.

Il est, d'ailleurs, bien évident qu'aucun hygiéniste ne saurait souscrire à l'adoption d'un système dit d'*assainissement*, qui a pour objet de conserver dans le sous-sol de chaque demeure les déjections *fermentées* de ses habitants. Et si nous réclamons avec tant d'insistance la suppression des fosses fixes à vidange, ce n'est pas pour les remplacer par d'autres fosses fixes ; c'est pour leur substituer *le tout à l'égout qui éloigne immédiatement des habitations humaines et de leurs agglomérations tous les déchets putrescibles de la vie.*

Le Conseil d'hygiène publique et de salubrité du département de la Seine a d'ailleurs obéi à cette préoccupation lorsque, dans sa séance du 1er juin 1906, et malgré le rapport de M. le Conseiller général *Parisot*, favorable au déversement direct dans les égouts des eaux-vannes provenant des fosses septiques, il s'est prononcé *pour l'interdiction absolue de ce déversement.*

« En somme, disait M. Hétier, inspecteur général des ponts et chaussées, le système de la fosse septique est défectueux au point de vue de l'hygiène de l'habitation, parce qu'il conserve la fosse d'aisance et qu'il supprime l'occlusion hydraulique entre les cabinets et les chutes ; il est dangereux pour la santé des ouvriers égoutiers ; et l'admission de leur effluent dans les égouts constituerait une nouvelle et grave cause de contamination de la Seine et de la Marne. »

En ce qui concerne les villes, la question est donc jugée ; loin d'encourager, comme le font encore quelques municipalités, l'établissement de ces fosses ou d'autres appareils analogues, il faut les proscrire au même titre que les fosses fixes : et les villes désireuses de réaliser leur assainissement ne doivent pas hésiter à adopter le *tout à l'égout*, *séparatif* de préférence, aboutissant à une station d'épuration.

*
* *

Dans les villages ou dans les maisons de campagne isolées, il n'en est plus de même. Là, la fosse septique est vraiment à sa place, et la généralisation de son emploi est tout à fait désirable, sous la seule réserve qu'elle soit *étanche*, donc *métallique*, afin de protéger sûrement, contre toute infiltration

suspecte, les nappes souterraines voisines qui alimentent les puits.

Là, on peut l'adapter aux water-closets non pourvus de chasses d'eau, à condition de diluer suffisamment les matières avec les eaux pluviales des toitures et avec les eaux ménagères.

Mais là aussi, pour qu'elle soit inoffensive, il est essentiel de lui adjoindre un *lit bactérien d'oxydation*, capable de transformer en nitrates toute la matière organique dissoute contenue dans son effluent.

L'appareil de choix sera celui qui réunira le mieux les conditions qui précèdent, et ceux que nous avons cités plus haut, s'ils sont installés dans des conditions satisfaisantes, trouveront alors leur utilisation. Mais il importe d'exiger qu'ils ne laissent écouler au dehors que des liquides dépourvus de toute odeur fécale ou ammoniacale et imputrescibles. L'épreuve de cette imputrescibilité peut être faite par tout le monde sans le secours d'un chimiste; il suffit de recueillir un peu d'eau épurée, d'en remplir un flacon bouché à l'émeri, et de tenir ce flacon dans un endroit tiède, aux environs de 25 à 30° pendant une huitaine de jours. Si, en le débouchant ensuite, on perçoit une odeur d'hydrogène sulfuré ou d'*œuf pourri*, on peut être sûr que l'épuration est insuffisante. Elle est parfaite, au contraire, si l'odeur est nulle.

Nous avons eu l'occasion d'expérimenter, à l'Institut Pasteur de Lille, un type d'appareil *épurateur biologique pour habitations* qui répond pleinement aux conditions que nous venons d'indiquer.

Cet appareil, imaginé et construit par *M. Degoix*, ingénieur à Lille, se compose de deux récipients métalliques étanches d'égale capacité, accolés l'un à l'autre. L'un F. S. (*fig.* 14) constitue la fosse septique solubilisatrice des matières brutes qui y sont admises (déjections et eaux-vannes ménagères); c'est une simple fosse *Mouras*.

L'autre, L. B., représente un lit bactérien en mâchefer qui repose sur un faux fond métallique perforé *o*, et qui reçoit à sa partie supérieure, au moyen d'un distributeur à égouttage intermittent très simple III, le liquide à épurer, effluent de la fosse septique (par GG').

Ce second bassin, enfermé dans une bâche en tôle de fer, porte sur son couvercle rivé un tuyau K pour l'aspiration de l'air extérieur. Ce tuyau débouche, soit dans une cave, soit au niveau du sol.

Sous le fond métallique perforé *o* se trouve un espace vide, par lequel s'écoule l'eau qui a traversé le lit de scories en s'épurant et par lequel s'effectue, d'autre part, au moyen de la

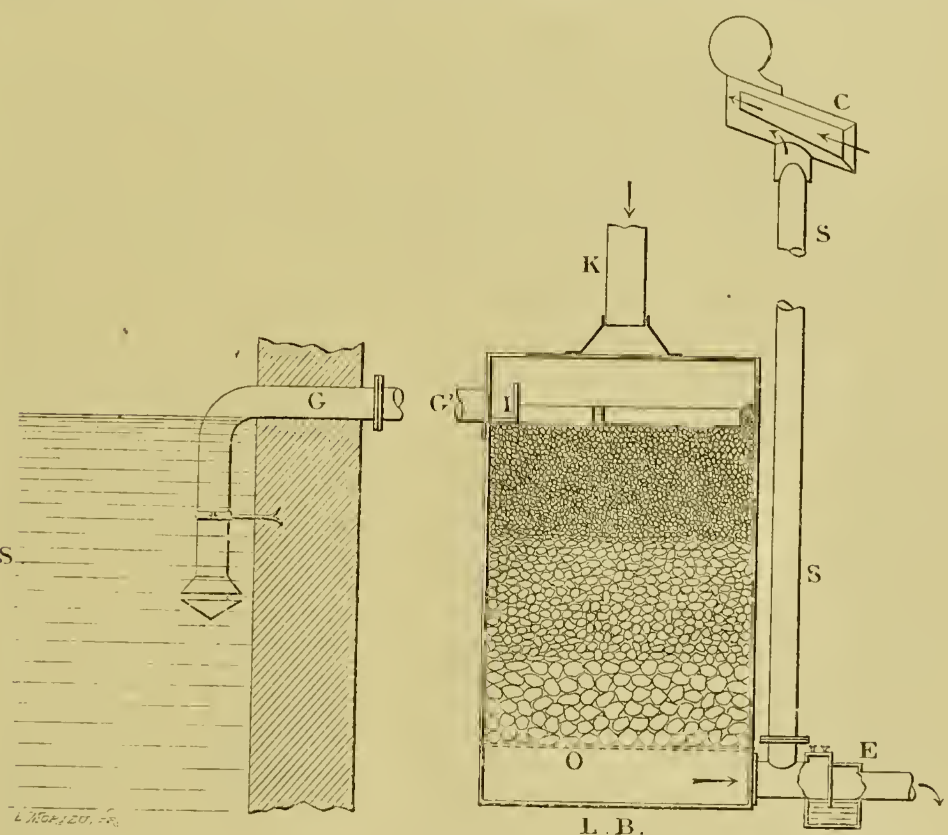


Fig. 14. — Épurateur biologique pour habitation isolée. (Système A. Degoix.)

conduite SS, l'évacuation de l'acide carbonique et des gaz provenant de la fermentation anaérobie et aérobie. Grâce à l'élimination rapide et constante de ces gaz, qui sont aspirés jusque sur le toit de l'immeuble par la cheminée à girouette C, les phénomènes d'oxydation de la matière organique dissoute s'accomplissent avec une grande énergie dans les scories. L'air y est incessamment renouvelé en telle masse, que l'odeur des gaz méphitiques ne se perçoit plus.

Après trois mois de fonctionnement, cet appareil qui reçoit chaque jour une moyenne de 15 chasses de water-closets de

10 litres, et dont la capacité est de $1^{mc},500$, donne un effluent qui, prélevé aux diverses heures de la journée dans le petit regard d'échantillonnage E, renferme une proportion de nitrates variable de 25 à 110 milligrammes. Cet effluent est légèrement opalescent, inodore et imputrescible, même après sept jours d'étuve à 30°.

On pourrait donc très avantageusement diriger soit dans un jardin potager, soit sur des gazons, un liquide si parfaitement épuré; la culture en tirerait un immédiat et large profit.

Les dispositifs de ce genre représentent, pour les maisons de campagne, pour les établissements collectifs isolés des réseaux d'égout et pour les petites agglomérations rurales, le meilleur système d'assainissement qui nous soit actuellement connu.

*
* *

Dispositions spéciales en vue de l'épuration biologique dans les hôpitaux. — Il n'est peut-être pas superflu de discuter ici la question de savoir si l'épuration biologique est recommandable pour les hôpitaux, dont les eaux d'égout renferment constamment en abondance des germes de maladies contagieuses.

Les recherches du Dr *P. Musehold*, publiées en 1900 dans les « Arbeiten aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamte) (¹) », ont montré les dangers de l'épandage agricole au point de vue de la propagation de la *tuberculose* en particulier, en prouvant expérimentalement que, malgré les influences nuisibles qui agissent sur eux, malgré le froid, la neige, la pluie, le soleil, et malgré la concurrence des autres espèces microbiennes, la résistance des bacilles tuberculeux est telle que, dans la terre des champs d'épandage, ils conservent leur pouvoir de contamination pendant plusieurs mois. L'inoculation aux animaux de la terre de ces champs a montré que les bacilles virulents y étaient extrêmement nombreux.

La sécurité est-elle plus grande avec l'épuration biologique? Il est difficile d'en faire la preuve. Sans doute la fermentation anaérobie en fosse septique détruit un très grand

(¹) Band XVII, Heft 1.

nombre de bactéries pathogènes, et nous avons pu nous assurer que le bacille typhique et le vibrion cholérique n'y résistent pas même douze heures. Mais nous n'oserions pas l'affirmer pour le bacille tuberculeux, à cause des moyens de protection tout à fait efficaces que son enveloppe de cire et de graisse lui fournit.

On ne doit donc pas, en principe, tolérer le déversement des produits tuberculeux, surtout des crachats, dans une canalisation d'eaux-vannes épurées par le système biologique, sans que ces produits aient été préalablement désinfectés et rendus sûrement inoffensifs.

Pour les crachats, il est relativement facile d'y détruire la vitalité des bacilles, en les faisant macérer pendant quelques heures dans une solution concentrée de carbonate de soude (à 5 pour 100) et en les faisant bouillir. On peut alors, sans crainte, les jeter à l'égout, et le carbonate de soude, dilué par les eaux-vannes, ne gêne aucunement l'action ultérieure des bactéries nitrifiantes.

Mais pour ce qui concerne les déjections, le problème est plus difficile à résoudre, et nous avons dû précisément nous préoccuper de lui chercher une solution pratique à propos du sanatorium pour tuberculeux de *Montigny-en-Ostrevent*. Répondant aux indications que nous lui avons précisées, *M. Degoix*, ingénieur à Lille, a fait construire un système spécial de water-closets et de vidoirs à double chasse que nous n'avons pas hésité à adopter, et qui atteint parfaitement le but cherché.

Cet appareil, représenté dans la figure 15, se compose d'une cuvette, ou d'un vidoir V (représenté en coupe en E) et de deux réservoirs de chasse A et B. Le réservoir A est en communication normale avec la canalisation d'eau, et s'alimente automatiquement comme tous les appareils du même genre, au moyen d'un robinet à flotteur.

Le réservoir B reçoit, par une canalisation différente, d'un autre réservoir placé aux étages supérieurs de l'édifice, un liquide antiseptique quelconque (solution concentrée de carbonate de soude ou d'hypochlorite de chaux, ou de lysol). Il s'alimente également par un robinet qui s'ouvre seulement pendant un instant après qu'on a tiré la chaîne de vidange C.

Lorsque des matières susceptibles de contenir des germes contagieux sont déposées dans la cuvette V, il suffit, pour en provoquer l'expulsion, de tirer une seule fois la chaîne C. Aussitôt après, cinq litres environ de solution antiseptique viennent s'écouler automatiquement dans la cuvette V, et y

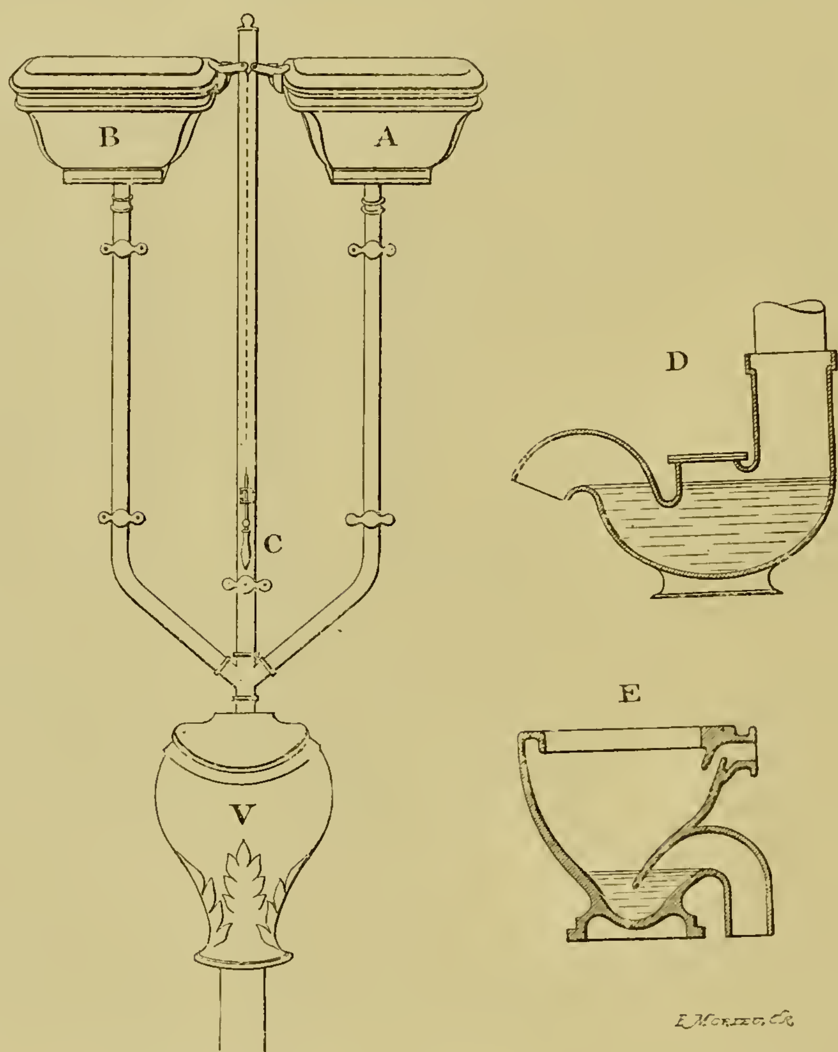


Fig. 15. — Water-closet à double chasse antiseptique pour la stérilisation immédiate des matières contagieuses. (Système A. Degoix, breveté.)

restent jusqu'à ce qu'une nouvelle chasse vienne à se produire. Le mélange de matières et d'antiseptique se rend alors dans une cuvette siphoïde intermédiaire D, placée en sous-sol, et les dimensions de cette cuvette sont calculées de manière à ce que le volume de six chasses au moins puisse y rester accumulé, assurant ainsi un *temps de contact* suffisant avec l'anti-

septique pour que les germes contagieux soient détruits. Ce temps de contact, suivant l'antiseptique employé, doit être au minimum de quatre heures; mais, plus l'action est prolongée, plus elle est sûrement efficace.

La cuvette siphoïde D se déverse par trop-plein dans la canalisation d'égout.

La seule objection possible à l'emploi de cet appareil est que la forte proportion d'antiseptique employée pour la désinfection des matières peut gêner le travail des fermentations anaérobies en fosse septique.

L'expérience a montré que cette crainte n'était pas justifiée. La dilution avec les eaux-vannes ménagères (cuisines, bains, lavage, etc...), est telle que, arrivées dans la fosse septique en présence d'un levain de microbes en pleine activité, les matières n'en subissent pas moins une désintégration très rapide. Du reste, de nombreux essais de laboratoire ont montré qu'il faut, pour arrêter une fermentation anaérobie en pleine marche, plus de 1/10 000 de chlorure de chaux et plus de 1/1000 de lysol. Or, ces concentrations ne peuvent jamais être atteintes lorsque 200 litres, par exemple, d'une solution à 5 pour 100 de chlorure de chaux ou de lysol se trouvent dilués dans 30 ou 50 mètres cubes d'eaux-vannes.

Il nous paraît donc certain que dans les hôpitaux, les sanatoriums, les maisons de santé et, en général, dans tous les établissements qui reçoivent des malades contagieux, l'usage d'appareils de ce genre, d'ailleurs peu coûteux, rendra de très grands services.

Et lorsque leur utilisation n'est pas possible, on peut très économiquement leur substituer le simple *seau hygiénique* garni, préalablement à son usage, d'une certaine quantité de liquide antiseptique. Il suffit d'y laisser séjourner les matières pendant un temps suffisant pour assurer leur stérilisation, avant de les rejeter à l'égout.

Ce moyen, adopté à Paris à l'*hôpital Pasteur*, est à la portée de tout le monde, et il n'est pas inutile de savoir que son emploi est parfaitement compatible avec l'épuration biologique des eaux-vannes.

CHAPITRE VI

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE DES EAUX D'ÉGOUT EN ANGLETERRE

Il y a juste dix ans que furent publiés en Angleterre les premiers travaux de *W.-J. Dibdin*, sur l'épuration artificielle des eaux d'égout, d'après le système que cet éminent chimiste avait expérimenté à *Barking Creek*, puis à *Sutton*, près de Londres, sous la dénomination de « *Bacterial process* ». Presque à la même époque, *Cameron* appliquait le même principe à *Exeter*.

Le procédé primitif de *Dibdin* consistait à créer, soit avec des scories ou mâchefer, soit avec des fragments de briques concassées ou de silex, un sol artificiel, extrêmement perméable, sur lequel les eaux d'égout, préalablement débarrassées par simple décantation de la majeure partie de leurs impuretés solides, étaient déversées par intermittences.

En réglant les périodes alternatives d'immersion et d'aération de ce sol artificiel, de manière à laisser aux matières organiques déposées dans la masse filtrante le temps de s'oxyder au large contact de l'air, *Dibdin* montrait, — et c'est là le point essentiel de sa découverte, — que les phénomènes d'oxydation s'y accomplissent avec une grande énergie, grâce à des *actions microbiennes* beaucoup plus intenses, mais identiques à celles que réalise l'irrigation intermittente sur le sol nu ou sur le sol cultivé.

Les résultats de ses premiers essais furent si encourageants que, pressées par les hygiénistes officiels d'arrêter la pollution toujours croissante des rivières, plusieurs grandes cités industrielles anglaises, au premier rang desquelles il convient

de citer *Leeds* et *Manchester*, s'empressèrent d'établir des stations d'études pour expérimenter le nouveau système.

On s'aperçut bientôt que celui-ci n'est applicable, dans les conditions décrites par *Dibdin*, qu'à des eaux d'égout très diluées et parfaitement décantées, mais que, lorsqu'elles renferment une certaine quantité de matières en suspension, ou des substances difficilement oxydables comme les résidus hydrocarbonés, le support ou *lit bactérien* que représente le sol artificiel se *colmate* et perd très vite ses propriétés épurantes.

Donald Cameron, que ce fait avait vivement frappé, eut alors l'idée ingénieuse de faire précéder le déversement intermittent sur *lits bactériens* d'une solubilisation aussi complète que possible des matières organiques et, à cet effet, il pensa à utiliser les avantages de l'appareil imaginé dès 1881, en France, par *M. Mouras*, connu sous le nom de *Fosse Mouras*, et dont l'*abbé Moigno* avait expliqué à diverses reprises le fonctionnement si curieux dans une série d'articles de la revue « Cosmos » (décembre 1881, janvier 1882 et janvier 1883).

L'appareil *Mouras* est basé sur ce principe que les déjections animales renferment tous les éléments de fermentation ou de dissolution nécessaires et suffisants pour les *liquéfier*, et pour permettre au sol arable de les utiliser sans perte appréciable. Pour que la liquéfaction soit complète, il suffit de donner à la fosse d'aisance une capacité convenable (soit environ un dixième de mètre cube par personne), d'y admettre les matières mélangées avec un volume d'eau correspondant à environ 20 fois leur masse, et de les tenir accumulées pendant 20 à 30 jours. La fosse doit rester constamment remplie : elle porte seulement un trop-plein par où s'échappe peu à peu une quantité de liquide correspondant exactement au volume des matières qu'on y introduit.

En obligeant les eaux d'égout à séjourner dans un appareil de ce genre, — pendant beaucoup moins longtemps que les déjections de water-closets, puisqu'elles sont beaucoup plus diluées, — il devenait possible de solubiliser une grande partie des matières en suspension qu'elles renferment, et d'éviter, par suite, l'apport de boues à la surface du matériel filtrant des lits bactériens.

L'expérience d'*Exeter*, conduite par *Cameron*, bientôt répétée à *Yeovil*, à *Manchester*, à *Leeds* et à *Sutton*, montra qu'on pouvait tirer un excellent parti de cette association du principe de *Mouras* à celui de *Dibdin* et que, dans presque tous les cas, on obtenait des résultats d'épuration satisfaisants en laissant fermenter spontanément les eaux d'égout pendant 12 à 24 heures dans de vastes fosses *Mouras*, et en déversant le trop-plein de celles-ci, par intermittences, sur des *lits bactériens*.

La fosse *Mouras*, adaptée à sa nouvelle fonction, reçut en Angleterre le nom de « *Septic Tank* », que nous traduisons en français par *fosse septique*.

Une foule d'appareils et de dispositifs particuliers, d'ailleurs tous basés sur les principes établis par *Mouras*, *Dibdin* et *Cameron*, ne tardèrent pas à être proposés par un grand nombre d'ingénieurs sanitaires ou de constructeurs, au choix des villes intéressées à l'adoption du nouveau système. Quelques-uns seulement présentent de réels avantages; la plupart compliquent inutilement, ou rendent coûteuses à l'excès les installations d'épuration qu'on doit chercher à éviter de grever de trop lourdes charges [1].

La « *Royal Commission of sewage's disposal* » en a fait l'étude, mais elle a pris grand soin, dans ses rapports, de n'en recommander aucun. Elle se borne à constater leurs résultats, et elle permet leur adoption lorsque ceux-ci répondent aux conditions d'efficacité qu'elle exige.

Le nombre des villes anglaises, qui ont adopté ou expérimenté les procédés d'épuration biologique en vue de leur adoption prochaine, dépasse, à l'heure actuelle, le chiffre de 120. Quelques-unes d'entre elles traitaient antérieurement leurs eaux d'égout par les procédés chimiques les plus divers dont aucun ne donnait satisfaction. Les autres avaient créé depuis plus ou moins longtemps des champs d'épandage avec utilisation agricole; elles avaient dû y renoncer pour de multiples raisons sur lesquelles nous reviendrons dans un autre chapitre. Et partout les résultats ont été pleinement satisfaisants.

[1] Les plus importants de ces appareils ou dispositifs ont été décrits dans le chapitre VII de notre premier volume.

Nous croyons donc utile de donner ci-après quelques indications sur un certain nombre de ces installations, dont nous avons visité les plus importantes.

1. Accrington (*fig.* 16 et 17). — 1 bassin de décantation.

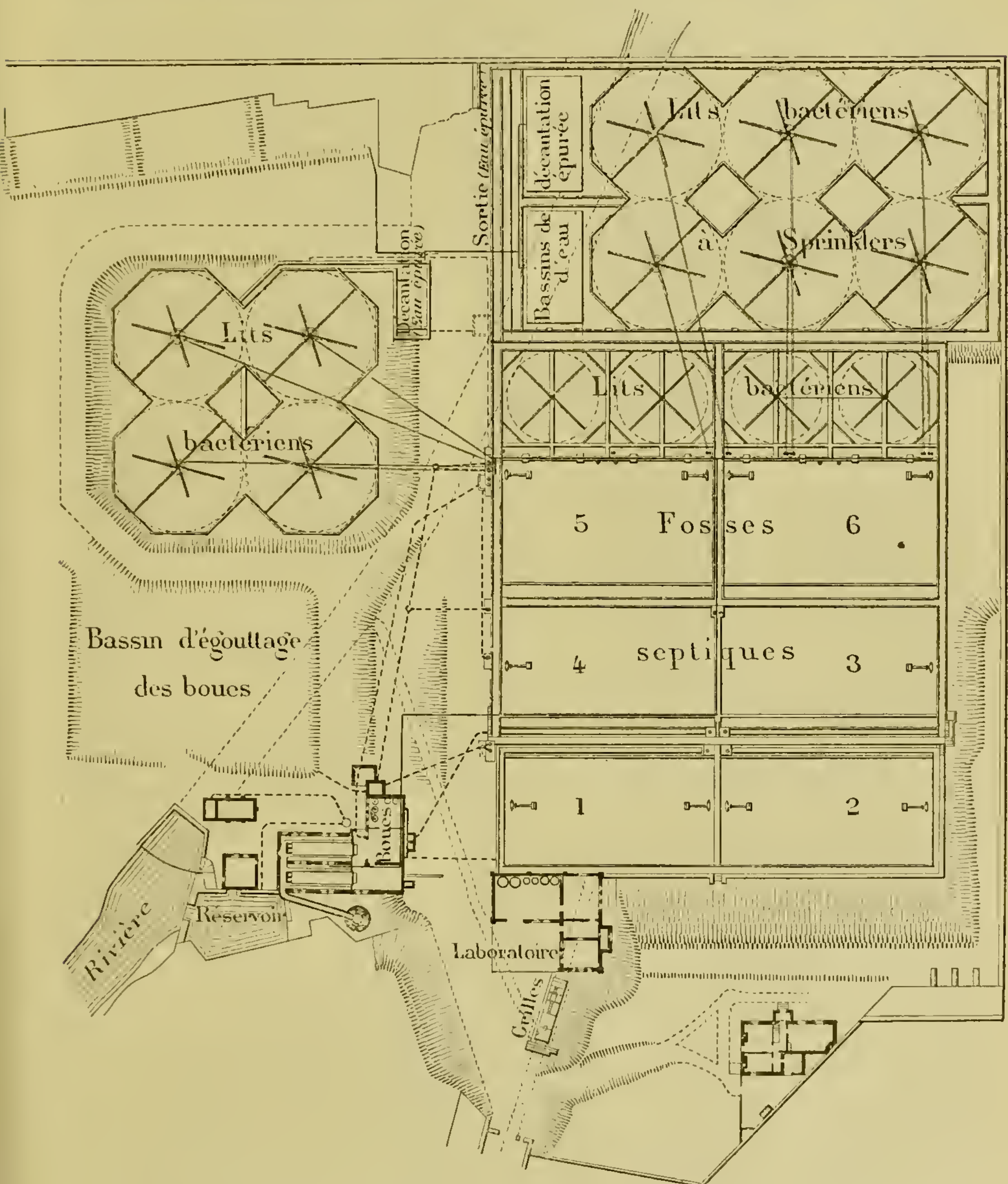


Fig. 16. — Station d'épuration biologique d'Accrington.

6 fosses septiques ouvertes de 8630 mètres cubes, capacité totale.

Flot moyen par temps sec = 5678 mètres cubes par jour.

Date de mise en service : août 1899.

10 lits bactériens à Sprinklers, de 20 mètres de diamètre chacun, et 4 lits bactériens à Sprinklers, de 15 mètres de diamètre.

Surface totale : 4614 mètres carrés (coke et scories).

Profondeur : 2^{m},75.

Coût : 60 francs par mètre carré y compris terrassements, cimentage du fond, construction, drainage et garniture.

Eaux d'orage séparées.

Épuration : matières organiques 90 %, azote albuminoïde 91,5 %.

Le Rivers Board se déclare satisfait.

Les fosses septiques d'Accrington ont été vidées en août 1903, après 13 mois de fonctionnement ininterrompu, pour enlever la boue qu'elles renfermaient et en mesurer la quantité.

On en a extrait 3000 tonnes, et leur composition était la suivante :

Eau 88,50 %, matières minérales 6,28 %, matières organiques 5,22 %.

Le poids de ces boues après dessiccation correspondait à 348 tonnes.

Or, à l'époque où l'on épurait par précipitation chimique, on extrayait par semaine 60 tonnes de boues passées au filtre-presse et contenant 55 % d'eau, soit 1404 tonnes par an à l'état sec.

La proportion de boues *sèches* échappées à l'action des fosses septiques est donc de 26^{t},8 *par mois*, alors qu'avec la précipitation chimique elle était de 117 *tonnes*, soit environ 4 fois plus considérable!

(Rapport de M. William J. Newton, Engineer to the board, 31 mars 1904).

La figure 17 montre les dispositions adoptées pour la construction des lits polygonaux à Sprinklers, et la figure 16 indique le plan général de l'installation telle qu'elle fonctionne actuellement.

2. Acton. — Sprinklers Wittaker-Bryants.

Surface de lits : 50 mètres carrés.

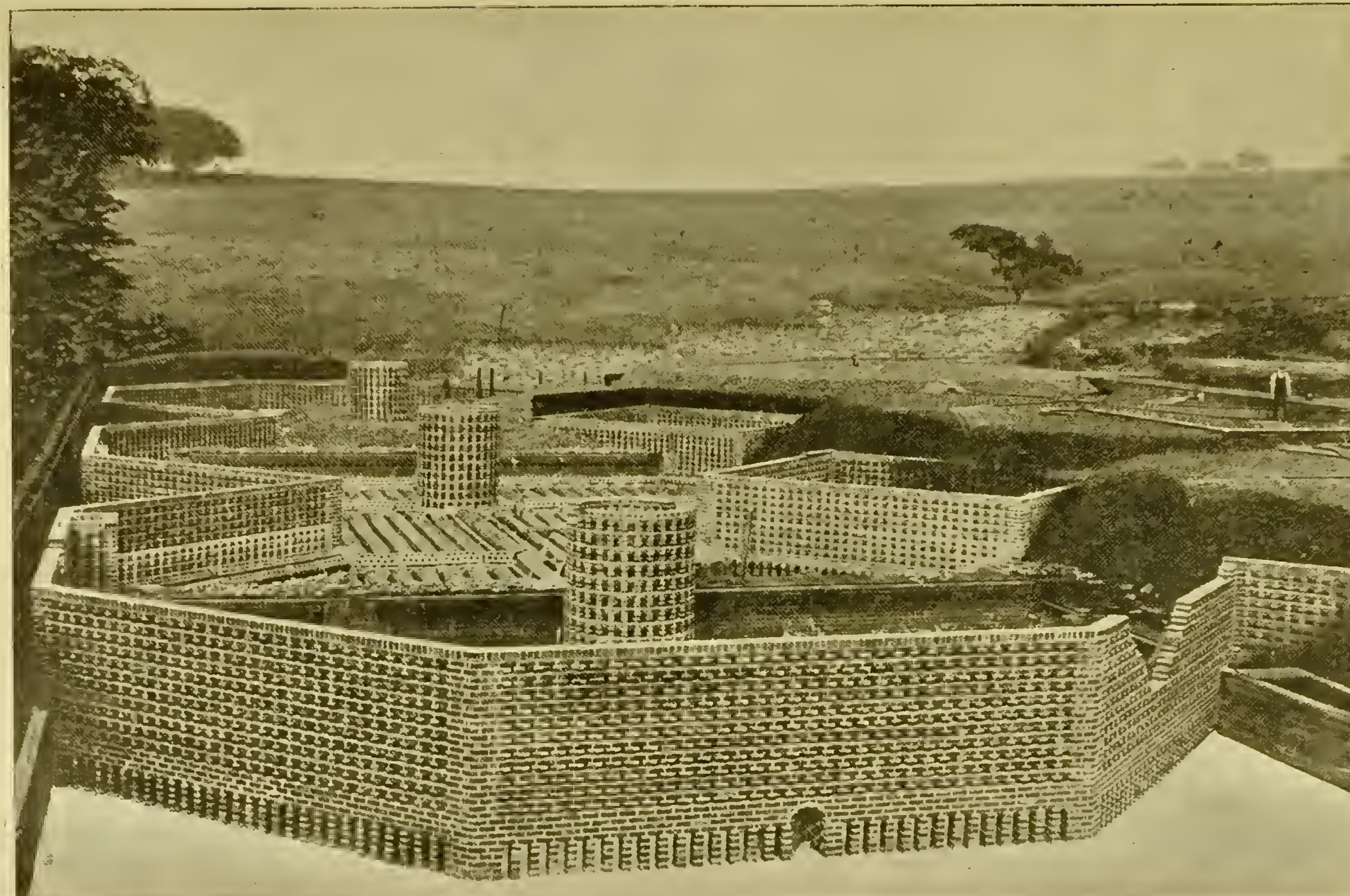


Fig. 17. — Dispositions adoptées pour la construction des lits à Sprinklers à Accrington.

Profondeur 1^{m},95.

Fosse septique ouverte : 708 mètres cubes.

Débit à raison de 4500 mètres cubes par hectare et par jour.

Effluent déversé à *Chiswick Ait*, déclaré satisfaisant par le Conseil de surveillance de la Tamise.

Coefficient d'épuration : mat. org. 69,1 °/₀, azote albuminoïde 77,3 °/₀.

3. Camp d'Aldershot. — Surface de lits de premier contact : 17^{m},69 × 11^{m},28.

Surface de lits de second contact : 17^{m},69 × 30 mètres.

Profondeur des lits primaires : 1^{m},20.

Profondeur des lits secondaires : 0^{m},45.

Pas de drains. Grosses scories au fond.

Coût approché de l'installation : 300 000 francs par hectare.

Simple décantation, pas de fosse septique.

Eaux d'orage séparées.

Les lits primaires marchent à un débit de 5677 mètres cubes par hectare et par jour.

Les lits secondaires en filtres continus à raison de 1475 mètres cubes.

Coefficient d'épuration : matières organiques 75,3 °/₀ lits primaires, 91,1 °/₀ lits secondaires; azote albuminoïde 71,0 °/₀ lits primaires, 89,3 °/₀ lits secondaires.

4. Aylesbury. — 4 lits primaires.

6 lits secondaires.

Surface totale : 2430 mètres carrés.

Dimensions des lits primaires : 15 mètres × 9 mètres.

Dimensions des lits secondaires : 35 mètres × 9 mètres.

Profondeur : 1^{m},50 (primaires).

Profondeur : 0^{m},95 (secondaires).

Coût estimé par hectare : 400 000 francs.

Sewage décanté, sans fosse septique. Capacité du bassin de décantation : 180 mètres cubes.

2 périodes par 24 heures.

Débit : 5678 mètres cubes par hectare et par jour.

Épuration : matières organiques 60 à 80 °/₀.

Résultat considéré satisfaisant.

5. Barnley. — (Population 41 000 hab.). Pratique depuis 30 ans la filtration intermittente après précipitation chimique. A installé récemment 3 lits primaires, surface 3240 mètres carrés.

Dimension de chaque lit : 36 mètres × 30 mètres.

Fosse septique ouverte : 30 × 36 mètres.

Surface : 1080 mètres carrés.

Capacité : 908 mètres cubes.

Les résultats de l'épuration sont satisfaisants.

6. Birmingham. — Après *Londres*, la ville de *Birmingham* représente avec ses faubourgs la plus importante agglomération d'Angleterre qui soit pourvue d'un système d'assainissement complet.

La population que dessert son réseau d'égouts s'élevait en 1901 à 795 000 habitants.

La consommation d'eau y est proportionnellement moindre qu'à Manchester : 120 litres par habitant seulement et par jour, et le volume total d'eau d'égout évacué quotidiennement par temps sec est de 115 000 mètres cubes. Lorsque ce volume s'accroît par temps de pluie jusqu'à 670 000 mètres cubes, tout l'excédent est rejeté directement dans la rivière *Tame* et ne subit aucune épuration.

354 usines environ (métallurgie, brasseries et industries diverses) déversent leurs eaux résiduaires dans la canalisation urbaine.

Dès 1855 l'administration municipale fut mise en demeure d'instituer un système d'irrigation. En 1859 on construisit deux bassins de décantation de 48 000 mètres cubes, et de vastes filtres qu'on abandonna bientôt pour adopter le traitement chimique par la chaux avec irrigation subséquente sur 64 hectares de terres de culture.

L'étendue des terrains irrigués fut graduellement accrue. En 1897 elle était de 1132 *hectares* et constituait une grande exploitation en régie directe.

A partir de 1900, on résolut de supprimer la précipitation chimique et de la remplacer par la fermentation des eaux d'égout brutes en fosses septiques, avec utilisation agricole de l'effluent de ces fosses.

En même temps qu'on creusait de nouveaux bassins et des filtres d'orage, on entreprenait des essais d'épuration biologique avec des lits de contact et des filtres percolateurs à Sprinklers.

Toute cette installation nouvelle, ainsi que la ferme municipale, sont placées sous l'active et très intelligente direction de M. *John D. Watson*, qui a bien voulu nous les faire visiter plusieurs fois et auquel nous devons les renseignements qui suivent.

*
* *

Actuellement le flot de sewage est réparti entre cinq réservoirs de dépôt, de 4500 mètres cubes de capacité (22 500 mètres cubes au total), divisés chacun en trois compartiments. L'eau y circule à une vitesse moyenne de $0^{m},55$ à la minute et y reste environ *4 heures* 36 *minutes*. Une grande quantité de détritus de rue et de matières lourdes s'arrêtent dans le premier compartiment et sont enlevés une fois par semaine au moyen d'une drague *Priestman*. Ces détritus, contenant 50 % d'eau, sont évacués par des wagons et incinérés dans un four à ordures ménagères ou « destructor ».

La boue du second compartiment (à 90 % d'eau) est également extraite une fois par semaine et dirigée par gravitation vers un *éjecteur Shone* (à air comprimé) qui la refoule dans une canalisation de 10 kilomètres de longueur, pour la distribuer par des vannes spéciales dans des tranchées parallèles de 90 centimètres de largeur sur $0^{m},45$ de profondeur, creusées en plein champ (*fig.* 18).

Lorsqu'une série de ces tranchées est pleine de boue, on la recouvre immédiatement avec de la terre et, si la saison est favorable, on y sème du seigle. L'été suivant, après une récolte, on laboure profondément le sol et on le laisse en jachère. Deux ans après on peut y creuser de nouvelles tranchées, y faire un déversement de boues et ainsi de suite.

Quarante hectares de terre sont exclusivement consacrés à cet épandage spécial.

La *fermentation septique* commence dans le troisième compartiment des cinq bassins de dépôt et s'établit dans 20 *fosses*

septiques ouvertes. Chacune de celles-ci a une profondeur moyenne de 2 mètres et une capacité de 3296 mètres cubes. L'ensemble des 20 fosses accumule 65 920 mètres cubes d'eau préalablement décantée (*fig.* 19 et 20).

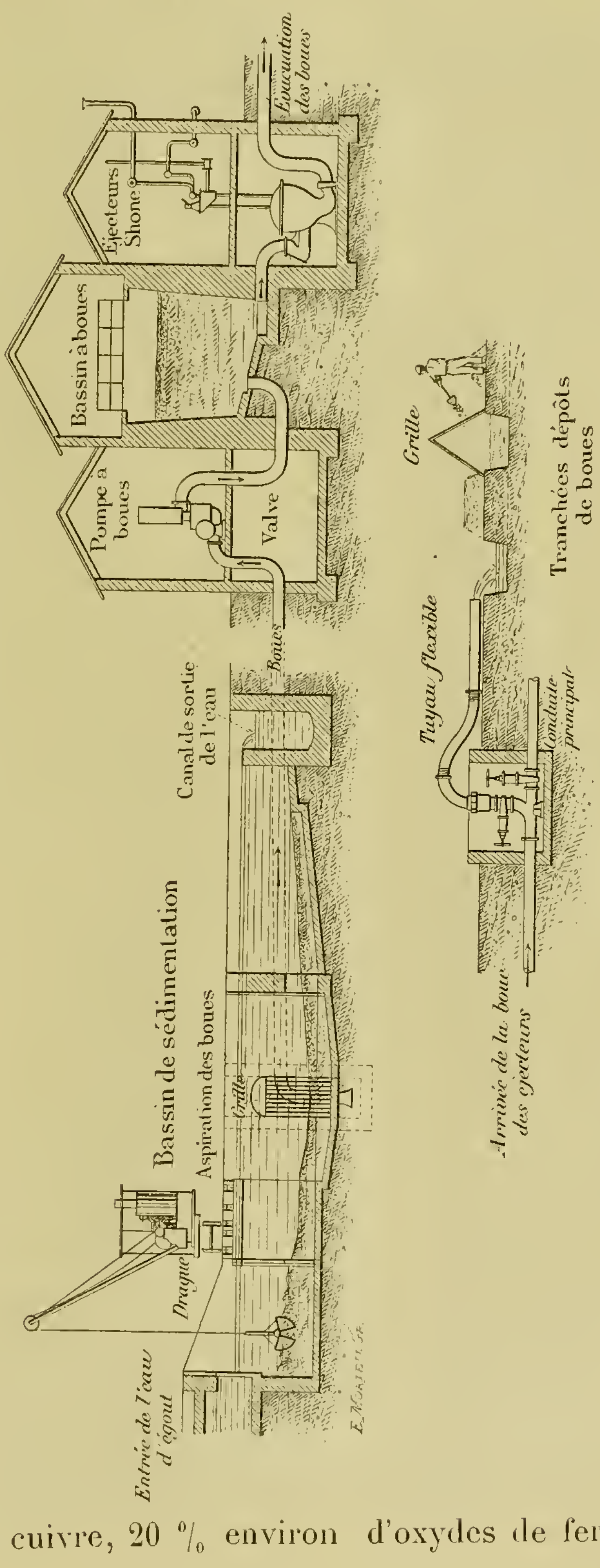


Fig. 18. — Diagramme montrant les dispositifs employés pour l'évacuation des boues.

Ces fosses, en quatre années de fonctionnement ininterrompu, n'ont jamais eu besoin d'être vidées. La boue, qui ne s'y accumule qu'en très faible quantité, est composée par 55,33 % de matières minérales et par 44,67 % de matières organiques, dont 2,47 % seulement de substances azotées.

Elle ne possède aucune odeur nauséabonde et n'est pas putrescible.

L'analyse des matières minérales montre qu'elles sont constituées par 20 % de sable, 1,70 % d'oxyde de cuivre, 20 % environ d'oxydes de fer et



Fig. 19. — Vue générale des 20 fosses septiques ouvertes de Birmingham (avec, au premier plan, leur canal d'alimentation et leur réservoir d'orage). L'eau d'orage est déversée sur le lit filtrant dont on aperçoit un coin à droite de la figure).

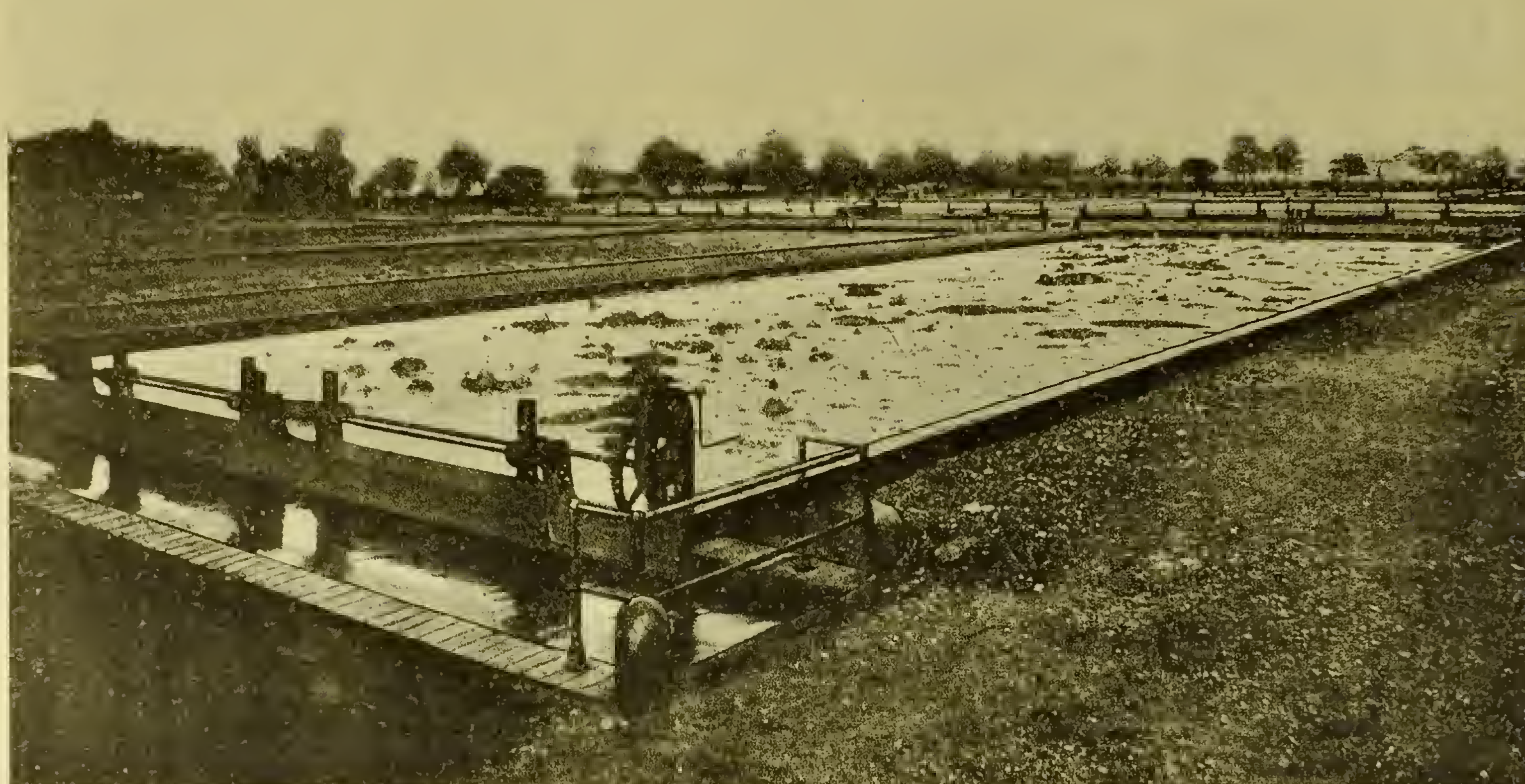


Fig. 20. — Une des fosses septiques ouvertes de Birmingham, montrant le chapeau d'écume qui se forme à la surface.

d'alumine ; 5 % d'oxydes de zinc, de manganèse et de nickel, 7 % d'acide phosphorique et d'alcalis.

L'effluent des fosses septiques est dirigé par un canal couvert, long de 8 kilomètres, vers des décanteurs *Dortmund* (*fig.* 21) qui achèvent de séparer l'humus et les matières fixes restées en suspension. Ce canal a une pente de 20 centimètres par kilomètre et débouche à un niveau de 12 mètres environ plus élevé que la rivière, de sorte qu'on utilise ainsi une dénivellation très suffisante pour l'alimentation des lits bactériens par simple gravitation.

La boue qui se dépose dans les décanteurs *Dortmund* est

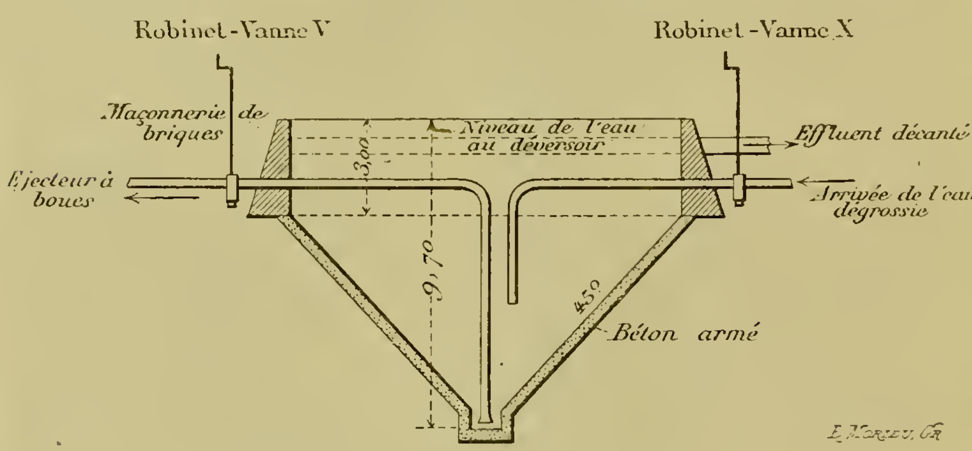


Fig. 21. — Décanteur Dortmund.

évacuée, lorsqu'il en est besoin, dans des bassins d'égouttage en terre, et le liquide décanté est partagé entre quatre grands lits percolateurs à Sprinklers et deux vastes lits percolateurs rectangulaires à becs pulvérisateurs.

Chaque décanteur *Dortmund*, dont la figure 21 représente schématiquement les dispositions essentielles, mesure $15^m,25$ de diamètre et $9^m,70$ de profondeur jusqu'à l'extrémité de la partie conique. Sa capacité est de 750 mètres cubes.

L'effluent des fosses septiques y séjourne 4 heures. Chaque décanteur, à raison de six remplissages par jour, peut donc recevoir quotidiennement 4500 mètres cubes. L'eau entre dans l'appareil à $5^m,40$ au-dessous du niveau de déversement, lequel est constitué par une passerelle à bords perforés, formant gouttière. Les boues décantées sont évacuées simplement en ouvrant le robinet-vanne V par la pression de l'eau sur leur

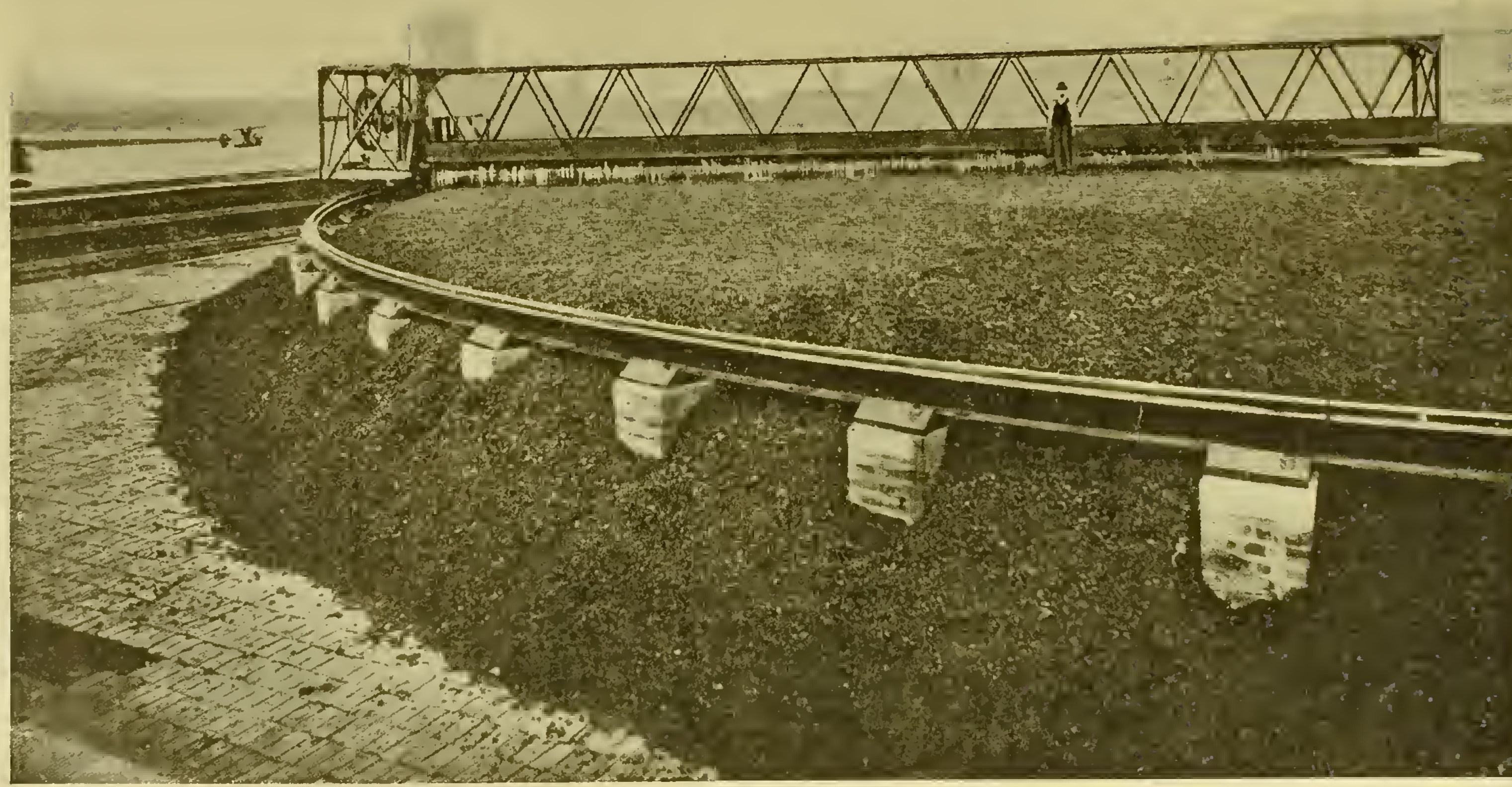


Fig. 22. — Lit bactérien percolateur de 10 ares de surface alimenté par le distributeur automatique rotatif de *Scott-Moncrieff* (Birmingham).

masse. La partie conique du décanteur est construite en ciment et la partie cylindrique en briques recouvertes de ciment à l'intérieur.

Les lits percolateurs à Sprinklers ont été installés seulement à titre d'essai. Chacun d'eux a 36 mètres de diamètre et $2^m,10$ de profondeur. Ils portent des Sprinklers de différents types (*Adam's*, *Mather and Platt*, *Scott-Moncrieff*). Le Sprinkler de *Mather and Platt* paraît donner de bons résultats : il s'alimente, au moyen d'un système automatique spécial, de manière à arroser son lit bactérien pendant environ une minute pour 10 minutes d'arrêt.

Le Sprinkler d'*Adam's* et celui de *Scott-Moncrieff* (*fig.* 22) sont également satisfaisants. D'après M. *Watson*, le dernier est le plus parfait, mais ces appareils sont trop coûteux et d'un mécanisme trop délicat pour pouvoir jamais entrer dans la pratique courante.

Le système des lits bactériens à becs pulvérisateurs divisés en deux étages successifs (primaire et secondaire), ayant chacun $1^m,50$ de profondeur et constitués simplement par des briques du *Staffordshire* concassées, a été adopté de préférence, et c'est lui seul qu'on a définitivement choisi.

Il ressemble à celui de *Chesterfield* que nous avons déjà décrit, mais les becs pulvérisateurs sont un peu différents.

Toute la surface de chaque lit est traversée par une série de tuyaux cylindriques disposés en lignes parallèles à 3 mètres de distance les unes des autres, perforés en quinconce tous les trois mètres. Chaque perforation porte un bec pulvérisateur vertical analogue à celui qu'on emploie pour les *jets d'eau en gerbes* (*fig.* 23).

L'eau d'égout provenant des *Dortmund* est projetée par ces becs jusqu'à environ $2^m,25$ de hauteur et retombe en pluie tout autour.

On peut traiter ainsi, très facilement, 22710 mètres cubes par hectare et par jour, soit $2^{mc},271$ *litres par mètre carré.*

Les lits bactériens à becs pulvérisateurs sont divisés chacun en 9 secteurs pour 40 ares de superficie, de manière à permettre à chaque secteur de 4 *ares* 44 d'être arrêté de temps à autre pour les nettoyages et les repos jugés indispensables à la bonne marche de la nitrification.

En temps d'orage, le flot d'eau d'égout, lorsqu'il ne dépasse pas 6 fois le volume normal, peut être reçu dans les bassins de décantation et les fosses septiques. Au delà de ce volume, on le déverse sur des filtres spéciaux constitués par du coke sur 90 centimètres d'épaisseur, et de là à la rivière *Tame*.

Les 1152 hectares de terrains de la ferme municipale de Birmingham sont partagés en 715 hectares irrigables, 254 hec-

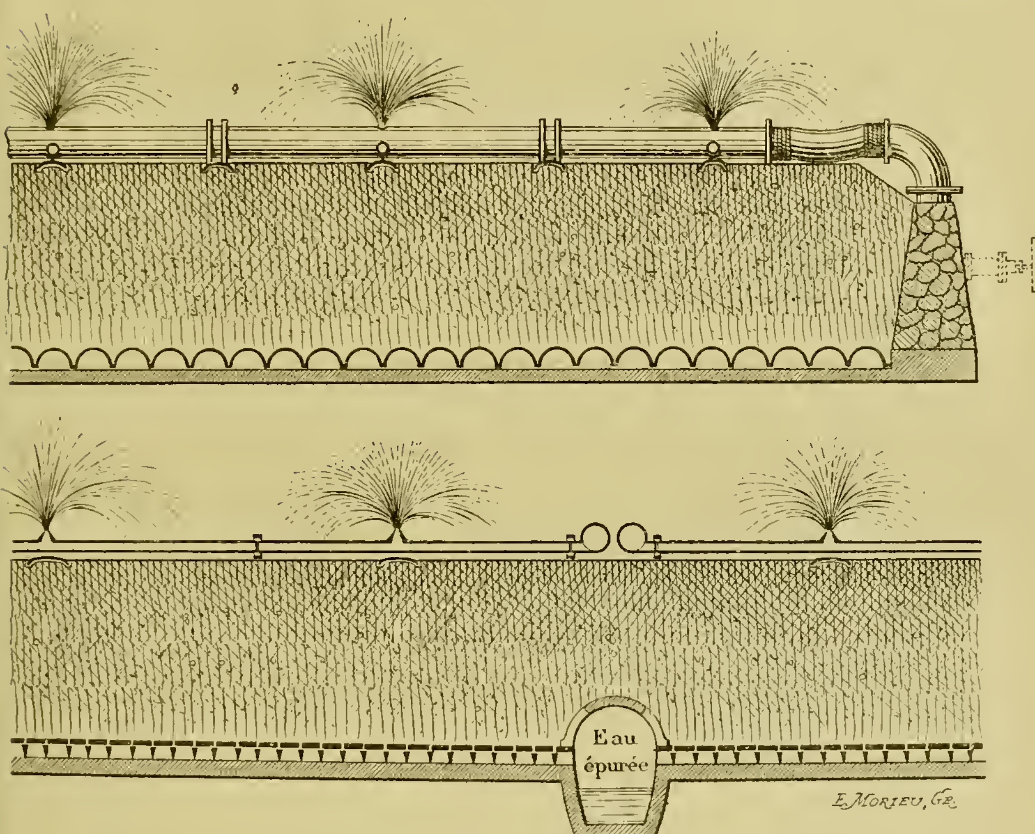


Fig. 25. — Lit bactérien avec pulvérisateurs de Birmingham.

tares de constructions, canaux, chemins ou voies d'accès, jardins et parties non irrigables à cause du voisinage des routes. Les 165 hectares restants sont seuls employés à la culture rationnelle et indépendante des exigences de l'irrigation.

Le coefficient moyen de purification par l'épandage, mesuré par l'oxydabilité au permanganate de potasse, était en 1901 (y compris l'effet des fosses septiques), de 88 %, en 1902 de 90 %, en 1903 de 92 %.

Jusqu'à ces derniers temps, on était obligé de réserver, dans les parties basses de l'exploitation agricole, de vastes espaces sur lesquels on pratiquait la *filtration intermittente* avec ou sans culture, faute de terrains suffisants pour absorber toute l'eau d'égout.

Grâce à l'épuration biologique, ces terrains peuvent maintenant être rendus à la culture normale, dans de bonnes conditions économiques et sanitaires.

De sorte qu'*après avoir longtemps pratiqué l'irrigation agricole en exploitant elle-même très scientifiquement son domaine, la Ville de Birmingham, convaincue, par des expériences progressivement étendues, des résultats économiquement et hygiéniquement plus parfaits de l'épuration biologique, a jugé nécessaire d'adopter celle-ci et de ne conserver l'épandage que dans la mesure où les terrains cultivables dont elle dispose peuvent l'utiliser sans nuire aux récoltes.*

C'est exactement cette solution qui, tôt ou tard, nous en sommes convaincus, s'imposera à la Ville de Paris.

7. Blackburn. — 2 fosses septiques ouvertes, de 5407 mètres cubes de capacité, reçoivent chaque jour 1100 mètres cubes d'eau d'égout et font disparaître 72 % des matières solides, soit par dissolution, soit par gazéification.

L'effluent reste 12 à 16 heures dans les fosses septiques et est ensuite réparti sur 5 lits de contact de 524 mètres carrés de surface totale. Les dimensions de chaque lit sont 56 mètres × 27 mètres sur 1m,60 de profondeur.

On fait 2 ou 5 remplissages ou contacts par jour et 2 contacts successifs.

Le coefficient d'épuration est de 75 à 80 % pour la matière organique et de 97,1 % pour l'azote albuminoïde.

8. Bristol. — *Bristol* possède deux stations d'épuration, l'une à *Knowle*, l'autre à *St John's lane.*

A *Knowle*, 2 fosses septiques fermées de 115 mètres cubes de capacité totale et de 1m,80 de profondeur reçoivent chaque jour 180 mètres cubes d'eau d'égout.

Le sewage est ensuite distribué sur 2 lits à percolation de

7 mètres × 3 mètres portant un distributeur *Stoddart* à raison de 1150 *litres par mètre carré et par jour.*

A *St John's lane*, une seule fosse septique alimente un Sprinkler Candy à raison de 225 litres par mètre carré.

9. BURNLEY. — A Burnley, 12 fosses septiques de dimensions variant entre 15 mètres × 12 et 25 mètres × 12, avec une capacité de 450 à 500 mètres cubes. On en évacue la boue environ tous les 4 mois.

L'effluent est réparti en deux contacts successifs sur 26 lits de scories à raison de 112 litres par mètre carré et par jour.

Le coefficient d'épuration varie de 63,7 à 90 % pour la matière organique, et de 55,9 à 88,6 % pour l'azote albuminoïde.

10. BURSLEM. — L'eau d'égout passe dans une fosse septique ouverte de 1300 mètres cubes de capacité. L'effluent est distribué à 9 lits de contact dont 3 primaires, 3 secondaires et 3 tertiaires, à raison de 870 litres par mètre carré et par jour.

11. CATTERHAM (Caserne). — Caserne de 1000 soldats, 100 mètres cubes par jour. Épuration par le système *Scott-Moncrieff*. L'eau arrive d'abord dans un bassin de dépôt d'environ 100 mètres cubes, puis dans une fosse septique de 6 mètres de large et de 11 mètres de long, remplie jusqu'à une profondeur d'environ 2 mètres de silex gros comme le poing, ce qui permet un dépouillement rapide des matières en suspension. L'eau se rend ensuite aux lits à percolation *Scott-Moncrieff*, formés de plusieurs caisses bétonnées placées les unes au-dessus des autres, avec des ouvertures latérales pour l'aération. Chacune de ces caisses (il y en a 7) a $3^{m},20$ de large et de long sur 17 centimètres d'épaisseur. Elles sont remplies de coke. Hauteur totale $1^{m},90$ ($1^{m},20$ de coke et $0^{m},70$ pour les parties vides). L'alimentation se fait par des vases à bascule intermittente (toutes les 7 à 10 minutes), et la répartition de l'eau déversée se fait par des tuyaux percés de trous.

En service depuis 8 ans sans que les lits aient dû être nettoyés. Épuration $1^{mc},1$ par mètre carré de surface.

Enlèvement des boues de la fosse septique tous les six mois.

12. Chester. — *Chester* est une des plus anciennes et des plus curieuses villes d'Angleterre, bien digne d'attirer l'attention des visiteurs curieux d'art architectural. Sa population est de 50 000 habitants.

Jusqu'à ces temps derniers, elle traitait ses eaux d'égout par un mélange de chaux et de sulfate ferreux, et l'effluent décanté était rejeté dans la rivière *Dee* qui coule aux pieds de ses remparts transformés en une promenade des plus pittoresques. Les boues étaient mises à sécher dans des bassins peu profonds creusés directement dans le sol, et les cultivateurs voisins les utilisaient comme engrais.

Les défectuosités de ce système obligèrent le *Local Government Board* à mettre la ville en demeure de réaliser dans des conditions plus parfaites l'épuration de son sewage.

Les terrains propices à l'épandage agricole faisant défaut aux environs, le *major Tulloch* fut chargé d'élaborer un projet, et celui-ci conclut à l'adoption du système biologique avec Sprinklers de *Candy* (lits à polarite ou carboferrite).

Le sewage arrive par gravitation jusqu'à une chambre à grilles, d'où il est refoulé par des pompes, mues par trois moteurs à gaz, jusque dans une cuve placée au sommet d'une tour en briques. De là il se rend par gravitation à un réservoir où une toile métallique sans fin enlève les particules en suspension.

Il passe ensuite de bas en haut à travers une série de 12 filtres cylindriques, dont 2 de 16^{m},775 de diamètre et 10 de 10^{m},98. Ces filtres renferment une couche de cailloux de granit concassé de 1^{m},22 d'épaisseur.

L'effluent se déverse dans une large rigole, de chaque côté de laquelle sont répartis sur deux rangs, et à deux étages, 20 lits bactériens circulaires qui ont chacun 15^{m},25 de diamètre.

Ces lits sont construits en ciment et briques et l'eau y est distribuée par des tourniquets hydrauliques de *Candy* à 4 branches. Ceux de l'étage supérieur sont les lits *primaires*. Ils sont composés de coke de grosseur variable.

Ceux du second étage (lits secondaires) reçoivent l'effluent des premiers. Ils sont formés de deux couches de coke entre lesquelles on a étalé sur 0^{m},60 d'épaisseur un mélange de

coke et de carboferrite en parties égales. L'épaisseur totale pour chacun des deux lits est de 1m,22.

Cette installation a commencé à fonctionner en juin 1905. Elle épure journellement 7000 mètres cubes d'eau environ et elle a coûté près de 1 800 000 francs.

13. Chorley. — 25 000 habitants; système unitaire, 2700 à 3200 mètres cubes par jour. Autrefois on employait la filtration intermittente sur sol. Aujourd'hui on utilise les procédés chimiques et biologiques. On emploie l'alun de fer, à raison de 90 grammes à 155 grammes par mètre cube d'eau. L'eau ainsi traitée est envoyée aux bassins de clarification au nombre de 8 (14m,6 de large, 27 mètres de long, 1m,50 de profondeur). Elle y séjourne 3 à 4 heures, on la décante et on l'envoie aux filtres, au nombre de 15, d'une surface totale de 2000 mètres carrés, bétonnés au fond et formés de 3 couches : une couche inférieure de 60 centimètres de gros gravier, une couche de 22cm,5 de polarite[1] et une couche de 17cm,5 de sable tamisé, de 0mm,5 à 1 millimètre. On peut remplacer la polarite par d'autres substances ferrugineuses. La répartition de l'eau sur les lits se fait au moyen d'appareils automatiques qui déversent 11 mètres cubes toutes les 40 minutes sur chaque filtre. Le passage à travers le filtre dure 10 minutes, donc les filtres restent 30 minutes en repos. On peut ainsi traiter 4mc,4 par mètre carré de surface en 24 heures. Le filtre est lavé une fois par semaine en faisant arriver de l'eau par le dessous du filtre, donc de bas en haut, et en raclant la surface. L'eau recueillie laisse déposer le sable, puis est envoyée à l'épuration.

L'épuration atteint 90 %; l'eau est parfaitement claire et imputrescible.

Les boues obtenues par les réactifs chimiques atteignent 75 mètres cubes à 90 % d'eau par jour. On les additionne de chaux et on les presse (5 kilogrammes de chaux par mètre cube de boue), et on obtient finalement, par jour, 7000 kilogrammes de boues pressées, vendues aux agriculteurs à 1 shilling 1/2 la voiture. On cherche actuellement à gazéifier ces boues.

Prix de l'installation, 500 000 francs. Frais d'exploitation, 2 centimes au mètre cube.

(1) Voir p. 128.

14. Darley-Abbey. — Petite ville de 2000 habitants, près de *Derby*, avec plusieurs usines importantes (papeteries et filatures), produisant seulement environ 100 mètres cubes d'eau d'égout par jour.

L'installation, construite d'après le système de *Candy-Wittaker*, comporte deux séries de deux lits bactériens couplés, à deux étages et à Sprinklers. (Voir *Uxbridge*.)

L'étage supérieur reçoit l'eau préalablement dégrossie, décantée, après qu'elle a passé 12 *heures* dans un bassin de liquéfaction (*préparateur*). Elle y est distribuée par des Sprinklers intermittents sur des lits à scories et polarite.

Elle passe ensuite sur le second étage où elle se filtre une seconde fois et on l'évacue, très convenablement épurée, à la rivière *Dervent*.

Cette petite installation a coûté 10 500 francs. Les frais d'exploitation et d'entretien sont à peu près nuls.

15. Derby. — La population est de 125 000 habitants.

On vient d'y achever, sous la direction du Dr *Barwise* et de M. l'ingénieur *Manzergh*, une magnifique installation d'épuration biologique par fosses septiques et lits bactériens à Sprinklers d'*Adams*, pour la totalité des eaux d'égout de cette ville.

Les résultats sont excellents, mais aucun rapport n'a encore été publié.

16. Exeter. — C'est à *Saint-Léonard*, près d'*Exeter* que *Donald Cameron* réalisa pour la première fois, en 1896, l'adaptation de la *fosse Mouras* à l'épuration biologique des eaux d'égout.

La population d'Exeter, d'environ 48 000 habitants, est alimentée en eau potable par la rivière *Exe*. Son réseau d'égout est du système unitaire, mais il ne dessert encore qu'une partie de la ville. Le volume évacué par temps sec est de 4500 mètres cubes; il s'élève à 18 000 mètres cubes aux moments des fortes pluies.

Le sewage arrive par gravitation dans trois chambres à sables qui ont chacune 1m,80 de largeur, 5m,40 de longueur et 0m,90 de profondeur. Leur plus grande dimension est parallèle au courant.

De là il est dirigé vers 6 *fosses septiques couvertes*, mesurant chacune 10^m,80 de largeur, 54 mètres de longueur et 2^m,50 de profondeur dont 2 mètres seulement utilisés. L'extrémité des tuyaux d'amenée est immergée dans le liquide un peu au-dessus de son niveau le plus bas.

L'effluent de ces fosses se rend par un canal à une chambre de distribution où se trouve tout un appareillage de balances hydrostatiques qui règlent automatiquement la distribution du liquide à épurer aux différents lits bactériens de contact.

Les boues accumulées dans les fosses septiques doivent être évacuées environ une fois par mois au moyen de vannes spécialement disposées à cet effet.

Les lits bactériens sont au nombre de 12; chacun d'eux occupe une superficie de 856 mètres carrés, soit en tout un peu plus d'un hectare. Ils sont constitués par un lit de gros gravier au fond, et par des scories de 7 à 25 millimètres de diamètre sur 1^m,20 de profondeur. A leur surface, on a aménagé des rigoles distributrices garnies de tuiles renversées, qui assurent une répartition aussi égale que possible de l'eau à épurer.

Il n'existe pas de lits de second contact. Au sortir des lits, l'eau n'est qu'incomplètement épurée. Théoriquement, on doit l'utiliser en irrigation sur les prairies.

Cette installation d'Exeter, actuellement dirigée par M. *T. Moulding*, qui succéda à M. *Cameron* comme « Surveyor » de la ville, a coûté 510 000 francs dont 76 000 francs pour les scories, soit un peu plus de 5 francs par mètre cube.

17. Glascow. — La ville de *Glascow*, qui compte environ 780 000 habitants, possède trois stations d'épuration : à *Dalmarnock*, *Dalmuir* et *Shieldhall*.

Dalmarnock reçoit 72 688 mètres cubes d'eau d'égout par jour, *Dalmuir* (à 7 milles en aval), peut en recevoir 220 000 et *Shieldhall*, actuellement inachevée, en traitera 218 000.

Ces trois stations sont situées sur les rives de la *Clyde*, dont le courant est soumis à l'influence des marées.

L'ingénieur en chef de la ville, *M. Mac Donald*, paraît être resté réfractaire à l'adoption des procédés biologiques et il n'a pas caché cette opinion dans un rapport présenté au Congrès

international des ingénieurs, à Glascow, en 1901. Sans émettre d'ailleurs aucune raison valable, il leur préfère le système de précipitation chimique (chaux et sulfate d'alumine), qui est encore employé à *Dalmarnock* et à *Dalmuir*.

On s'est néanmoins décidé à installer à *Dalmarnock* des fosses septiques et des lits de contact dont on étudie actuellement les résultats avant de poursuivre l'achèvement de la station nouvelle de *Shieldhall*.

18. Hampton. — *Hampton* est une jolie petite ville d'environ 7500 âmes, qui sert de villégiature à beaucoup de riches habitants de Londres. Son territoire s'étend sur une longueur de 5 kilomètres le long de la Tamise et l'une des grandes compagnies qui alimentent la capitale d'eau potable (Grand Junction Water C°), y possède son usine élévatoire et ses filtres à sable.

Aussi, nulle autre localité n'est plus impérativement tenue à ne déverser aucune impureté dans le fleuve.

Comme elle se trouve tout à fait en plaine, son réseau d'égout, du système séparatif, est divisé en 8 secteurs desservis chacun par une station d'*éjecteurs Shone*, à air comprimé, et la canalisation collectrice aboutit à une station d'épuration qui fut construite en 1899 sur les conseils de *M. Dibdin* et qui est dirigée actuellement par *M. S. H. Chambers*, ingénieur du district.

Le sewage (environ 1000 mètres cubes par jour), traverse d'abord une grille à barres inclinées et se répartit directement à un système de lits bactériens à *triple contact*. Les lits sont au nombre de cinq pour chaque contact. Ceux de l'étage le plus élevé ont $10^m,57 \times 15^m,25$; ceux de l'étage moyen $11^m \times 14^m,65$ et ceux de l'étage inférieur 11 mètres $\times 17^m,60$; soit, au total, 2628 mètres carrés. Tous ont une profondeur de $1^m,20$.

Les lits de premier contact sont garnis de grosses scories, ceux du second de scories moyennes et ceux du troisième de scories fines, de moins de 12 millimètres de diamètre, criblées pour éliminer la poussière.

Ils fonctionnent suivant le cycle dit des *huit heures*, soit : 1 heure pour le remplissage, 2 heures d'immersion, 1 heure pour la vidange et 4 heures d'aération.

Les vannes sont manœuvrées à la main.

L'effluent du troisième contact est relevé par un éjecteur à air comprimé et disséminé sur 8 hectares de terrain d'irrigation culturale, ou rejeté directement à la Tamise.

Ce système fonctionna d'abord d'une manière satisfaisante. Mais on ne tarda pas à constater que le premier contact se colmatait avec une rapidité si grande qu'il fallait à chaque instant enlever une épaisse couche de boue couvrant les scories. On dut installer un appareil spécial pour laver celles-ci. Bientôt il fallut également nettoyer celles du second lit, de sorte que la nécessité d'éliminer les boues rendit indispensable l'installation d'une fosse septique.

Celle-ci fut construite d'après le système connu sous le nom d'*Hydrolytic Tank*, imaginé par le D[r] Travis. Il se compose de deux chambres de sédimentation, d'une chambre de liquéfaction et de filtres anaérobies. La capacité totale du système est de 1362 mètres cubes.

L'eau d'égout reste 5 heures dans les chambres de sédimentation, 15 heures dans la chambre de liquéfaction et environ 3 heures dans les filtres anaérobies. (Voir *fig.* 24.)

L'*Hydrolytic Tank* retient parfaitement toutes les matières en suspension et en liquéfie une proportion considérable. On estime que l'espace réservé à l'accumulation des boues est suffisant pour qu'il ne soit utile de les évacuer qu'environ tous les deux mois.

Cet appareil, construit en ciment, est entièrement couvert. Les gaz s'échappent par des plaques trouées.

Le sewage, refoulé par les éjecteurs, entre d'abord dans la chambre de dépôt et pénètre dans les chambres de sédimentation dont les murs intérieurs, comme l'indique la coupe transversale *c d*, sont perforés de longues fentes permettant aux matières solides de tomber peu à peu dans la chambre de liquéfaction, puis dans l'espace sous-jacent si elles sont insolubles.

L'effluent de la chambre de liquéfaction s'échappe par un déversoir et entre, de bas en haut, successivement dans les deux filtres anaérobies qui sont formés de grosses pierres concassées. Au sortir de ces filtres, il est dirigé sur les lits bactériens à triple contact qui, dans ces conditions nouvelles

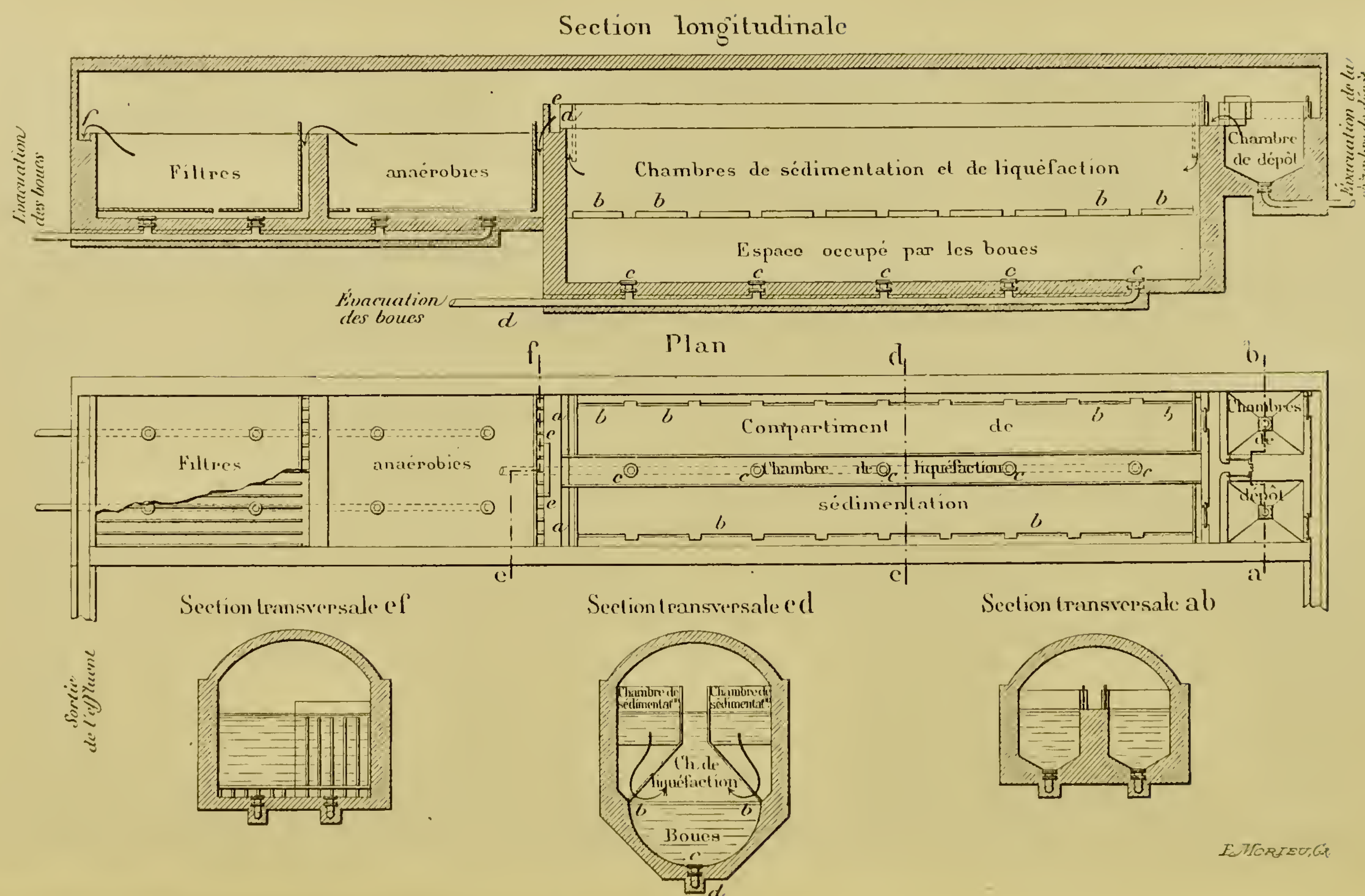


Fig. 24. — Hydrolytic Tank, de *Hampton*.

de fonctionnement, ne sont plus susceptibles de se colmater.

Ce système fournit des résultats assurément parfaits au point de vue de l'épuration. Il est juste de dire, — et son inventeur, le Dr Travis, le reconnaît d'ailleurs —, qu'il a été suggéré par les résultats d'expériences faites avec un dispositif analogue à la station de *Lawrence* (*Massachussets*), par le *State Board of Health* et qui ont été publiés dans les rapports de 1900 et 1901.

Le seul reproche qu'on puisse lui adresser est que les frais qu'il nécessite sont tellement élevés, qu'on peut difficilement admettre que beaucoup de villes consentent jamais à se les imposer, alors que d'autres systèmes, plus simples et infiniment moins onéreux, peuvent évidemment satisfaire les hygiénistes les plus exigeants.

19. Hanley (Comté de Staffordshire). — Auparavant l'épuration était obtenue par précipitation chimique suivie d'irrigation sur les terres.

Le sol utilisable étant argileux et la surface disponible non suffisante, l'épuration par le sol dût être écartée.

Traitement par fosse septique suivi d'oxydation par percolation. Comparaison du système circulaire *Scott Moncrieff* et du système rectangulaire *Willcox et Raikes*.

Le 1er semble avoir fonctionné plus régulièrement, à raison de 1100 litres par mètre carré de lit de 1m,57 de hauteur; tandis que pour le 2e, par suite de défectuosités auxquelles il est facile de remédier, la quantité a été de 880 litres par mètre carré.

On a aussi divisé les lits en secteurs contenant des fragments de poteries ou de terre cuite.

Le pourcentage d'épuration varie de 91 à 94 % pour les gros grains et de 94 à 97 % pour les grains fins avec le filtre circulaire.

La nitrification est la même partout. La grosseur des grains doit être en rapport avec l'aération.

Le distributeur de Wilcox et Raikes, applicable à des lits rectangulaires de grande surface, consiste en un tuyau horizontal placé sur roues, qui voyage par un mouvement de va-et-vient sur la surface du filtre et qui est actionné par un

câble métallique, les eaux d'égout étant fournies au distributeur au moyen de siphons qui prennent les eaux à distribuer dans un caniveau ouvert et les déchargent sur toute la surface du filtre, en un *film* parfaitement uniforme, par des déversoirs spécialement construits et fixés à intervalles sur les côtés du tuyau. La force motrice est fournie par un moteur électrique et le changement de direction du distributeur se fait automatiquement à chaque extrémité du lit. Le coût de la force motrice est de 2 francs environ pour 1000 mètres cubes d'eau d'égout épurée (*fig.* 25).

20. Hendon. — 22 000 habitants. Système séparatif, sauf pour les eaux de pluie tombées sur les maisons. Les eaux sont amenées par deux canaux à l'épuration à 4 kilomètres de la ville. Les eaux sont chargées de savon (100 blanchisseries sur le passage).

Volume total : 3600 mètres cubes par 24 heures. Les eaux du canal supérieur (2500 mètres cubes), sont d'abord traitées par le *ferrozone* à raison de 80 grammes par mètre cube ; puis elles passent dans trois bassins de clarification dont les dimensions sont 18^m,5 de long, 18^m,5 de large et 2 mètres de profondeur. Les boues y sont retenues.

Les eaux du canal inférieur (1100 mètres cubes), sont traitées par un mélange de 48 % de sulfate d'alumine, 3 % de sulfate de fer et 49 % d'eau à raison de 90 grammes par mètre cube, puis elles passent dans deux lits de clarification.

Les eaux ainsi traitées sont alors réunies et sont filtrées en partie sur le sol par la filtration intermittente, en partie par l'épuration biologique (1800 mètres cubes), qui donne à *Hendon* des résultats supérieurs à la filtration intermittente. Surface des lits : 1800 mètres carrés, profondeur 1^m,50 ; disposition des matériaux comme à *la Madeleine*. Chaque mètre carré de surface reçoit donc 1 mètre cube d'eau. Remplissage : 3 heures, plein 3 heures ; vidange 1 heure. Chaque lit travaille 2 fois par jour : il y en a trois. Aucun encrassement, par suite du traitement chimique préalable. La boue enlevée des lits de clarification est placée dans des fossés et enfouie. Surface nécessaire : 3 hectares, qui ont 50 tonnes de boues à recevoir chaque jour.

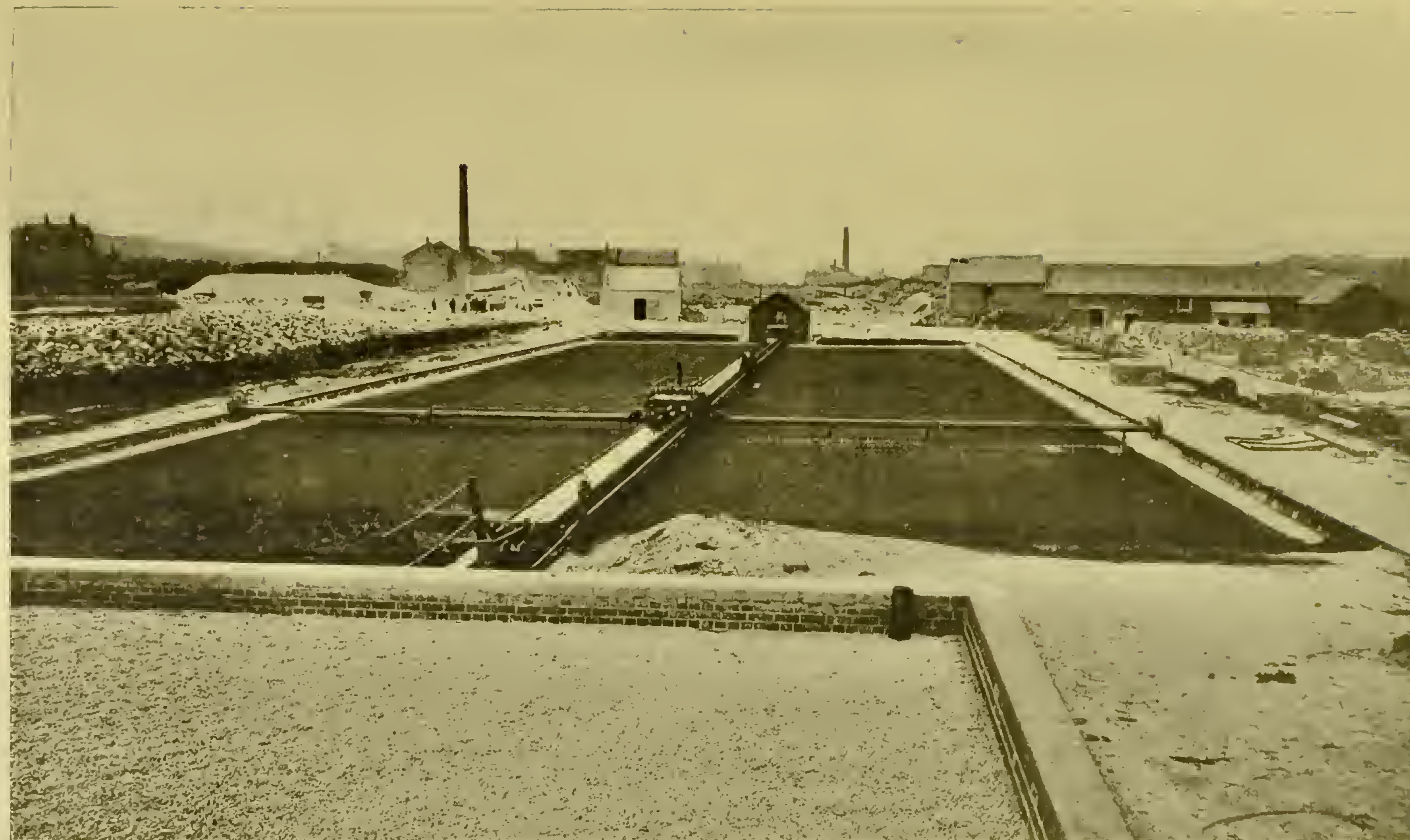


Fig. 25. — Épuration biologique des eaux d'égout à Hanley. — Distributeur Wilcor et Raikes.

Épuration excellente, plus de 90 %.

Prix pour l'installation biologique seule : 250 000 francs (12 fr. 50 par habitant).

21. Hey Wood. — 26 000 habitants. Système unitaire, 3600 mètres cubes par jour, mais avec les eaux de pluie il faut compter sur 4900 mètres cubes.

L'épuration se fait par voie chimique comme à *Hendon*. Consommation de produits chimiques : 155 tonnes par an. L'eau va alors dans les bassins de clarification. La boue est évacuée par le fond, additionnée de chaux et pressée : on a 16 600 tonnes de boues liquides par an, qui donnent au filtre-presse environ 2000 tonnes de boues à 57 % d'eau. On est assez gêné pour les écouler; les agriculteurs ne les apprécient pas. Une partie de l'eau traitée est épurée par le sol, l'autre dans des lits de contact (12 lits de 5 mètres de large, 20 mètres de long et 1m,20 de profondeur). Chaque lit travaille 3 fois par jour : 2 heures de remplissage, 2 heures de plein, 1 heure de vidange, 3 heures d'aération.

Puissance : 0mc,8 par mètre carré de surface. L'épuration n'est que de 38 % pour AzH^3, et de 72 % pour l'azote albuminoïde.

Frais d'exploitation : 2 centimes au mètre cube.

La ville étudie le remplacement de cette méthode par les procédés biologiques purs : le devis monte à 650 000 francs, soit 30 francs par habitant.

22. Horsfield. — 5500 habitants. Système unitaire, 380 mètres cubes à épurer par 24 heures, mais en cas de pluie la quantité monte à 480 mètres cubes. D'abord, traitement chimique par une substance analogue à l'alun de fer (Aluminium-cake) 65 à 85 grammes par mètre cube. La clarification s'effectue au moyen de 3 *Dortmund*, qui décantent l'eau claire par la partie supérieure. Les boues sont pressées et on obtient ainsi annuellement 250 tonnes de boues à 60 % d'eau.

L'eau traitée était envoyée, jusqu'en 1901, sur des filtres de gravier et de polarite; on les a remplacés aujourd'hui par des lits à percolation « Stoddart ». Épuration 75 %, fonctionnement parfait, même à la température de — 10°.

23. Huddersfield. — Depuis 1898 la ville d'Huddersfield (100 000 habitants), a entrepris des essais très suivis d'épuration de ses eaux d'égout par les procédés les plus divers, sous l'habile direction de M. K. F. Campbell, ingénieur municipal.

La station d'essais se trouve à Deighton. On y a expérimenté d'abord la méthode de Dibdin (traitement de l'eau d'égout brute par double contact), puis la précipitation chimique suivie de deux contacts bactériens, puis la fermentation anaérobie en fosse septique avec deux contacts aérobies, enfin la percolation après fermentation septique, au moyen de distributeurs rotatifs, système *Campbell*.

Ce dernier système a donné de beaucoup les résultats les plus satisfaisants. On l'a appliqué d'après le principe des becs pulvérisateurs (tricklings beds) et la ville vient de dépenser une somme de 3 500 000 fr. pour l'installer complètement.

Le pourcentage d'épuration obtenu avec les divers procédés dont on a fait l'étude a été :

	Matières organiques.	Azote albuminoïde.
Avec la précipitation chimique + double contact	90 %	86 %
Avec la fosse septique ouverte + double contact	88 %	85 %
Avec la fosse septique + percolation à becs pulvérisateurs	91 %	88 %

Les « Tricklings beds de Campbell » travaillent à raison de 1945 litres par mètre carré.

Les eaux à traiter sont très chargées : eaux de teintureries, de lavage de laines, etc. Malgré cela l'épuration est excellente.

24. Ivybridge. — 2000 habitants.

545 mètres cubes par jour.

2 chambres à sable.

2 Septic tanks couverts, longueur 21m,54, largeur 5m,66, profondeur moyenne 2m,154 ; constamment remplis ; le sewage s'écoule continuellement.

Les boues sont évacuées par la pression de l'eau.

2 groupes de 4 lits de double contact : longueur 8m,54, largeur 6m,70, profondeur 1m,22.

Remplissage et vidange automatiques.

25. Leeds. — Cette grande ville industrielle a une popula-

tion de 450 000 habitants. Elle est traversée par la rivière *Aire*. Tout à l'égout, système unitaire. Les trois quarts des habitants environ disposent de water-closets à chasses d'eau.

Les égouts reçoivent une grande quantité de sewage industriel (tanneries, peignages de laine, teintureries, usines métallurgiques de cuivre et de fer). Mais on y interdit les déversements de résidus susceptibles d'endommager les canalisations en raison de leur température ou de leur composition chimique. La ville consomme journellement 77 000 mètres cubes d'eau potable d'excellente qualité.

Par temps sec, la quantité de sewage évacué est en moyenne de 76 000 mètres cubes. Il s'élève à 270 000 mètres cubes par les grandes pluies.

On a expérimenté successivement l'épuration par le procédé ABC (charbon, alumine et sang), puis la précipitation par la chaux. Mais comme on devait arriver à produire ainsi par jour environ 500 tonnes de boues à 90 % d'eau, vu l'impossibilité de se débarrasser de cette immense masse de dépôts, on dut y renoncer.

L'irrigation agricole ne pouvait apporter aucune solution pratique : elle nécessitait au moins 1800 hectares de terres qu'on eût cherché vainement à acquérir au voisinage.

En juin 1897, le *Sewerage Committee*, présidé par le *colonel Harding*, pria M. *Dibdin* de lui donner ses conseils pour l'installation de lits bactériens semblables à ceux qu'il expérimentait alors à *Barking* et on décida d'instituer des essais d'épuration biologique à la station de *Knostrop* (*fig.* 26). De 1897 à 1905 le colonel *Harding*, assisté de M. W. H. *Harrisson*, étudia successivement les effets du traitement biologique sur les eaux d'égout, avec ou sans décantation préalable, puis sur le sewage fermenté en fosse septique ouverte ou fermée pendant 12, 24, 48 ou 72 heures.

On construisit des lits bactériens à simple et à double contact, et des lits percolateurs. On essaya enfin de remplacer la fermentation septique par une précipitation chimique au moyen d'un mélange de 1 partie de sulfate d'alumine pour 4 parties de chaux, et en déversant l'effluent décanté sur un lit percolateur à Sprinkler.

Ces expériences, très bien conduites, permirent de préciser

les éléments du problème qu'il s'agissait de résoudre et qui présentait de grandes difficultés en raison de la nature toute spéciale du sewage de *Leeds*, très riche en résidus industriels.

Le rapport définitif de MM. *T. W. Harding* et *W. H. Harrisson*, publié en juin 1905, renferme toute une série de considé-



Fig. 26. — Station d'épuration de Leeds.

1. Arrivée des eaux d'égout.
2. Grilles.
3-4-5. Laboratoire et usine de pompage.
6-7. Précipitation chimique.
8-19. Bassins de décantation.
20-21. Égouttage des boues.
24-40. Lits bactériens de contact ou percolateurs à sprinklers.
41-43. Dépôt de boues.

rations générales dont l'importance est si grande que nous croyons devoir les résumer avec quelques détails.

Pour le sewage de *Leeds*, la fermentation anaérobie en fosse septique ouverte à l'air libre permet de réduire le volume des boues à 1/3 de celui que produisait la précipitation chimique. Elle fait disparaître 30 % de la matière organique contenue dans l'eau d'égout brute.

Les boues extraites des fosses septiques n'ont aucune odeur

« offensive »; elles présentent en outre l'avantage de se dessécher beaucoup plus facilement que celles extraites des simples bassins de décantation.

La calcination au rouge leur fait perdre 43,4 % de leur poids : elles renferment donc 56,6 % de matières minérales, constituées surtout par de l'oxyde de fer et du sable.

L'analyse comparée des matières en suspension du sewage brut donne une perte au rouge de 51,9 %, laissant 48,1 % de matières minérales. Celles-ci renferment 29 % d'oxyde de fer et 55 % de sable.

Il est important de construire les fosses septiques de manière à pouvoir évacuer, *sans les vider*, environ tous les mois ou même tous les 15 jours, une partie des boues insolubles qui s'y déposent. On évite ainsi leur perte progressive de capacité et l'effluent qui s'en échappe reste parfaitement débarrassé de matières solides en suspension.

On n'a pas trouvé avantageux d'établir les fosses septiques en séries, communiquant les unes avec les autres : ce dispositif ne permet pas d'obtenir un effluent mieux décanté.

La formation des écumes constituant un *chapeau* plus ou moins épais est extrêmement variable et n'a aucune importance au point de vue de la marche des fermentations anaérobies. Lorsque ces écumes sont abondantes, il y a plutôt avantage à les enlever : elles se dessèchent très facilement sur le sol.

Avec les eaux d'égout de *Leeds* on a obtenu de meilleurs résultats en prolongeant jusqu'à 48 et même 72 heures leur séjour en fosse septique.

L'épuration de l'effluent sur lits percolateurs s'est constamment montrée plus parfaite que le simple ou le double traitement par les lits de contact.

On a trouvé recommandable de construire ces lits avec des scories assez grosses pour éviter qu'elles retiennent l'eau par capillarité et pour assurer entre chaque fragment la libre circulation de l'air. Les scories fines sont à rejeter, car elles ne tardent pas à se couvrir de végétations microscopiques et elles se colmatent.

L'aération latérale des filtres percolateurs est inutile : elle peut avoir pour effet d'abaisser la température du lit bacté-

rien en hiver. Il vaut donc mieux enfermer les scories dans des murs pleins.

On peut traiter sur les filtres percolateurs l'eau d'égout brute, simplement décantée mais non fermentée septiquement. L'épuration est alors exclusivement aérobie.

Ce procédé évite à peu près complètement les odeurs : il peut, à cet égard, rendre des services lorsqu'on doit installer la station d'épuration au voisinage immédiat d'une agglomération urbaine. Mais le coefficient de purification obtenu est alors moindre que si l'on emploie la fosse septique, et on est obligé de compléter le traitement par une filtration sur gravier.

Le sewage *brut* sur lit percolateur, suivi de passage sur filtre au gravier, donne une purification de 85 à 90 %, tandis qu'*avec la fosse septique et le lit percolateur* on a facilement de 90 à 94 %.

Dans les deux cas, l'effluent contient une grande quantité d'oxygène dissous et une assez forte proportion de nitrates. Il n'est plus putrescible.

Les lits percolateurs doivent avoir $1^{m},80$ de hauteur minima. A Leeds, ils ont permis de traiter sans difficultés 1 *mètre cube et demi* d'eau d'égout par mètre carré et par jour, soit 15 000 mètres cubes par hectare et par jour ou 5 millions 500 000 mètres cubes par hectare et par an (150 fois plus que par l'irrigation agricole sur les champs d'épandage de la Ville de Paris).

26. Leicester. — La ville de Leicester, dont la population est de 197 000 habitants, possède deux fermes municipales : l'une à *Belgrave*, l'autre à *Beaumont Leys*, où elle pratique depuis quinze ans l'irrigation sans pouvoir y obtenir des résultats satisfaisants par suite de la faible perméabilité du sol et des difficultés de drainage. Aussi, dès 1900, a-t-elle mis à l'étude, sous la direction de M. l'ingénieur *E. George Mawbee*, les procédés d'épuration biologique.

Elle a construit à cet effet une fosse septique de 500 mètres cubes de capacité et deux séries de lits de contact, dont 4 primaires et 2 secondaires. Elle traitait par jour, en 1904, 700 mètres cubes d'eau.

Le coefficient d'épuration obtenue était de 89 à 91,5 % pour la matière organique et de 79,9 à 86,7 % pour l'azote albuminoïde.

27. Lichfield. — 8000 habitants, 600 mètres cubes par 24 heures. D'abord épuration chimique par la chaux et l'alun de fer comme à *Tipton*; puis 3 lits de clarification.

La boue (60 T. par semaine à 90 % d'eau), est transportée dans les champs. L'eau traitée est alors soumise à la filtration intermittente sur le sol, mais, depuis quelques années, on l'a remplacée par des lits à percolation au nombre de 8, d'une surface totale de 1600 mètres carrés. Ces lits sont faits avec du charbon de bois.

Sur 15 cm. de hauteur (partie inférieure) grosseur 12 mm.
— 61 cm. — — — 5 à 6 mm.
— 61 cm. — — — 3 à 5 mm.
— 15 cm. de hauteur (partie supérieure) poussière, moins de 3 mm.

L'alimentation se fait au moyen de tuyaux posés à la surface du lit, dont les petites ouvertures peuvent être ouvertes ou fermées au moyen d'un levier. Les résultats sont bons : épuration pour AzH^3 65 %, pour Az albuminoïde 75 %. Dépenses annuelles : 20 000 francs.

28. Londres. — Londres traite environ par jour 900 000 mètres cubes d'eau d'égout par précipitation chimique dans l'ensemble de ses deux usines de *Barking* (rive gauche) et *Crossness* (rive droite de la Tamise). Six énormes navires à vapeur vont transporter au large de l'embouchure du fleuve un volume quotidien de 7200 tonnes de boues. Il en résulte, tant pour les frais de réactifs que de manutention et de main-d'œuvre, une dépense annuelle de 32 500 000 francs.

Aussi, depuis dix ans, le Conseil du Comté a-t-il entrepris de vastes expériences en vue de remplacer la précipitation chimique par la fermentation anaérobie en fosse septique. On s'occupe actuellement de réaliser cette transformation et d'épurer l'effluent par des lits bactériens à un seul contact. Comme il n'est pas nécessaire de rejeter dans le vaste estuaire de la Tamise des eaux complètement épurées, le but qu'on se propose d'atteindre est de réduire le plus possible les dé-

penses qu'entraîne le transport des boues, et d'évacuer seulement un effluent suffisamment imputrescible pour éviter les mauvaises odeurs, dont les innombrables navires qui sillonnent le fleuve se plaignent avec raison depuis tant d'années.

* * *

C'est à *Barking* que *Dibdin,* alors chimiste du Conseil de Comté, fit ses premières expériences sur la filtration intermittente par lits bactériens. Depuis 1897 le professeur *Frank Clowes* lui a succédé et il a comme auxiliaire bactériologiste le *Dr A. C. Houston.*

Le rapport très documenté qu'ont publié ces deux savants à la suite de leurs expériences[1] énonce les conclusions que voici :

1° Par une décantation convenablement effectuée, le sewage brut de Londres peut être débarrassé de toutes matières en suspension capables de colmater les lits bactériens, et le volume de boue qui se dépose est réduit dans une considérable proportion par l'effet des fermentations anaérobies.

Cette réduction peut encore être accrue si l'on parvient à séparer les détritus minéraux insolubles provenant du lavage des rues;

2° Lorsque les lits bactériens de contact sont mûrs, on peut les faire travailler dans des conditions très satisfaisantes à raison de 50 % de leur capacité volumétrique, soit 333 litres d'eau d'égout par mètre cube de coke ou de scories et par jour;

3° Lorsque les lits reçoivent un sewage bien décanté, leur capacité volumétrique ne diminue pas d'une manière appréciable et leur puissance de nitrification reste constante;

4° Le coke de bonne qualité constitue le meilleur matériel pour la construction des lits : il n'est pas sujet à s'effriter;

5° L'effluent des lits bactériens n'est plus susceptible de putréfaction, même pendant les chaleurs de l'été et on doit le considérer comme inoffensif. Il peut parfaitement permettre la vie des poissons;

6° L'emploi des réactifs chimiques précipitants est absolu-

[1] *The experimental bacterial treatement of London Sewage*, Londres, 1904.

ment inutile, quelles que soient les circonstances, si l'on adopte la méthode de traitement ci-dessus indiquée.

Le professeur *Clowes* indique qu'un lit de coke de 3m,60 de profondeur peut traiter avec une efficacité parfaite 49 500 mètres cubes d'eaux d'égout de Londres par hectare et par jour, soit 4mc,950 par mètre carré.

En ce qui concerne les résultats bactériologiques de l'épuration, le *Dr Houston* conclut que la diminution du nombre des germes pathogènes est considérable avec les lits bactériens épais, par rapport à la teneur en germes de l'effluent de précipitation chimique.

Le *Conseil du Comté*, conformément au programme tracé par ses ingénieurs, a décidé de supprimer la précipitation chimique et d'adopter exclusivement l'épuration biologique aussitôt que la réfection des égouts de *Londres*, actuellement en cours, sera achevée.

29. Manchester. — La grande cité industrielle de Manchester a une population d'environ 550 000 habitants. Elle possède un réseau d'égout du système unitaire qui charrie journellement 140 000 mètres cubes d'eau d'égout jusqu'à *Davyhulme*, près de *Urmston*, où se trouve l'usine d'épuration. Celle-ci est placée sous la direction de *M. James P. Wilkinson*, et sous la surveillance technique du *Dr Gilbert J. Fowler*, qui est incontestablement le savant le plus qualifié, en matière d'épuration biologique, de tout le Royaume-Uni.

Sous l'impulsion du « *Rivers Committee* » présidé par *Sir Bosdin Leech*, et sous la pression du *Local Government Board*, les divers problèmes que comporte le traitement des eaux d'égout ont été étudiés si magistralement et si complètement à *Manchester*, que toutes les personnes intéressées à ces questions ne peuvent se dispenser d'y aller faire un pèlerinage. On peut dire que cette ville est *la Mecque* des ingénieurs sanitaires et des hygiénistes.

En 1894, on construisit à *Davyhulme* un vaste établissement destiné à la précipitation chimique. Mais, dès 1898, des expériences étaient entreprises en vue d'épurer l'effluent chimique par un contact sur lit bactérien, comme le conseillait alors *Sir Henri Roscoe*.

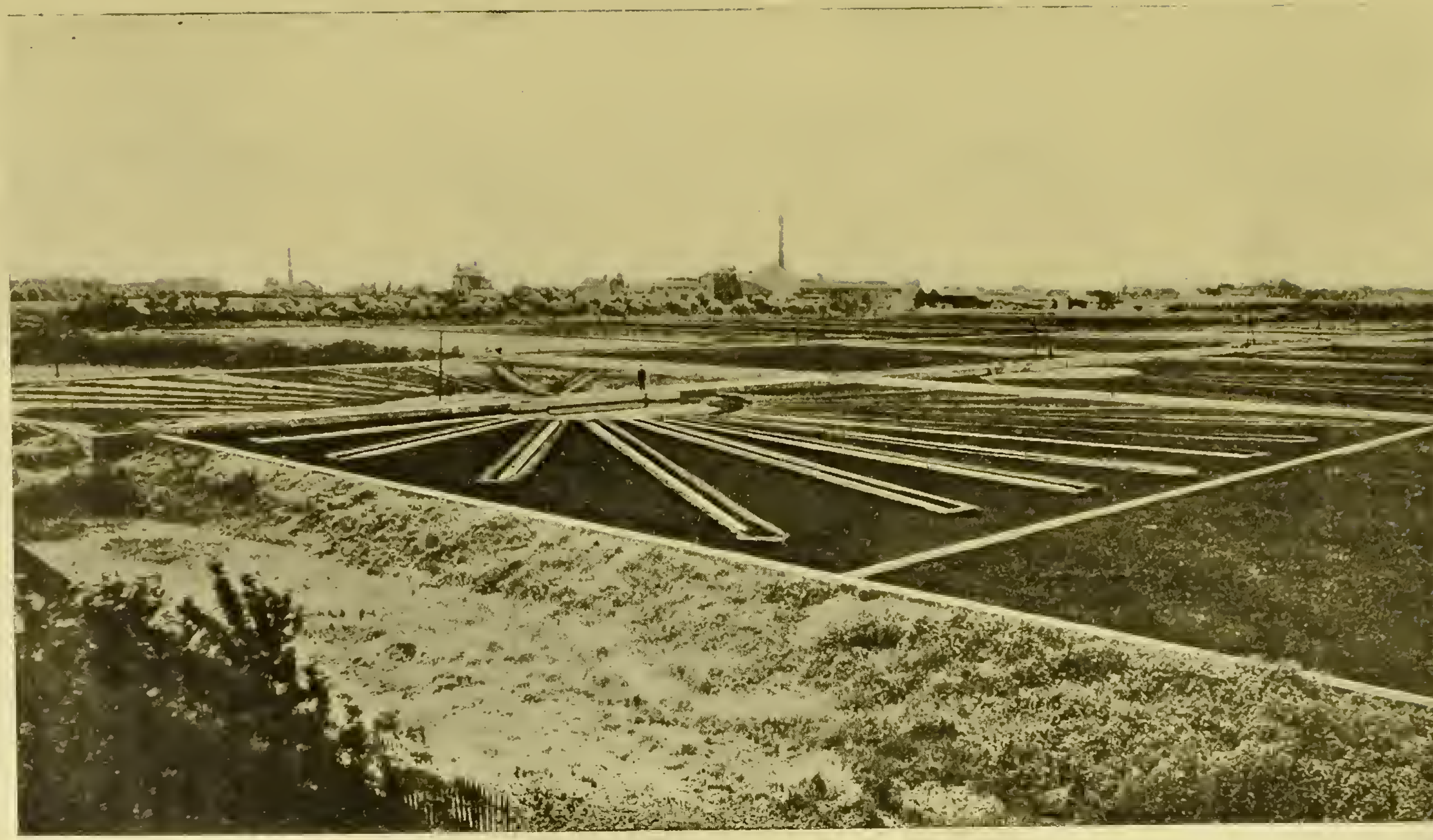


Fig. 28. — Lits bactériens de contact montrant la disposition des canaux de distribution à la surface des lits. (Manchester.)

Bientôt après, on élargissait l'expérience et on appliquait en grand le système de *Dibdin*, puis celui de *Cameron*, puis un autre système plus efficace et plus simple, qui consiste à traiter les eaux d'égout par fermentation anaérobie en fosse septique ouverte, et à épurer l'effluent par un seul ou par deux contacts sur lits bactériens anaérobies.

Après de multiples études qu'on trouve condensées dans les rapports annuels du *Rivers Committee*, c'est ce dernier dispositif qui a prévalu. On en décida dès lors l'installation en grand, et, depuis 1905, celle-ci est complètement achevée : on peut y traiter chaque jour 290 000 mètres cubes sur 18 hectares 40 ares de lits bactériens, au nombre de 92, ayant chacun 20 ares de superficie, et, lors des grandes pluies, 10 hectares 40 ares de lits filtrants dits « d'*orage* », permettent de ne rejeter que des eaux convenablement épurées dans le magnifique canal de l'*Irwell*, que sillonnent les navires allant de *Manchester* à *Liverpool* et *vice versa* (*fig.* 27).

L'eau d'égout de *Manchester* présentait des difficultés particulières de traitement en raison de son énorme teneur en résidus de manufactures. Elle renferme relativement peu d'azote, mais est cependant très riche en matières organiques oxydables par le permanganate, et en produits ferrugineux.

Tout le sewage arrivant à la station traverse d'abord une série de chambres à grilles, d'où sont enlevés, par des peignes et des dragues mécaniques, les matières flottantes volumineuses et les corps lourds. Il se rend ensuite, par un canal de 5 mètres de largeur, à une série de 16 fosses septiques, dont 11 ne sont autre chose que les anciens bassins de précipitation chimique transformés, et qui ont une capacité totale de 56 000 mètres cubes.

Chacun de ces bassins mesure 55 mètres × 90 et environ 1m,60 de profondeur. On en construit actuellement d'autres dont le volume et la profondeur seront plus considérables, et d'où les boues accumulées pourront être automatiquement et périodiquement évacuées.

Ces boues, refoulées dans une canalisation spéciale jusqu'au canal, sont chargées sur un vapeur qui les transporte en mer, au large de l'embouchure de la Mersey. En 1904, les bassins

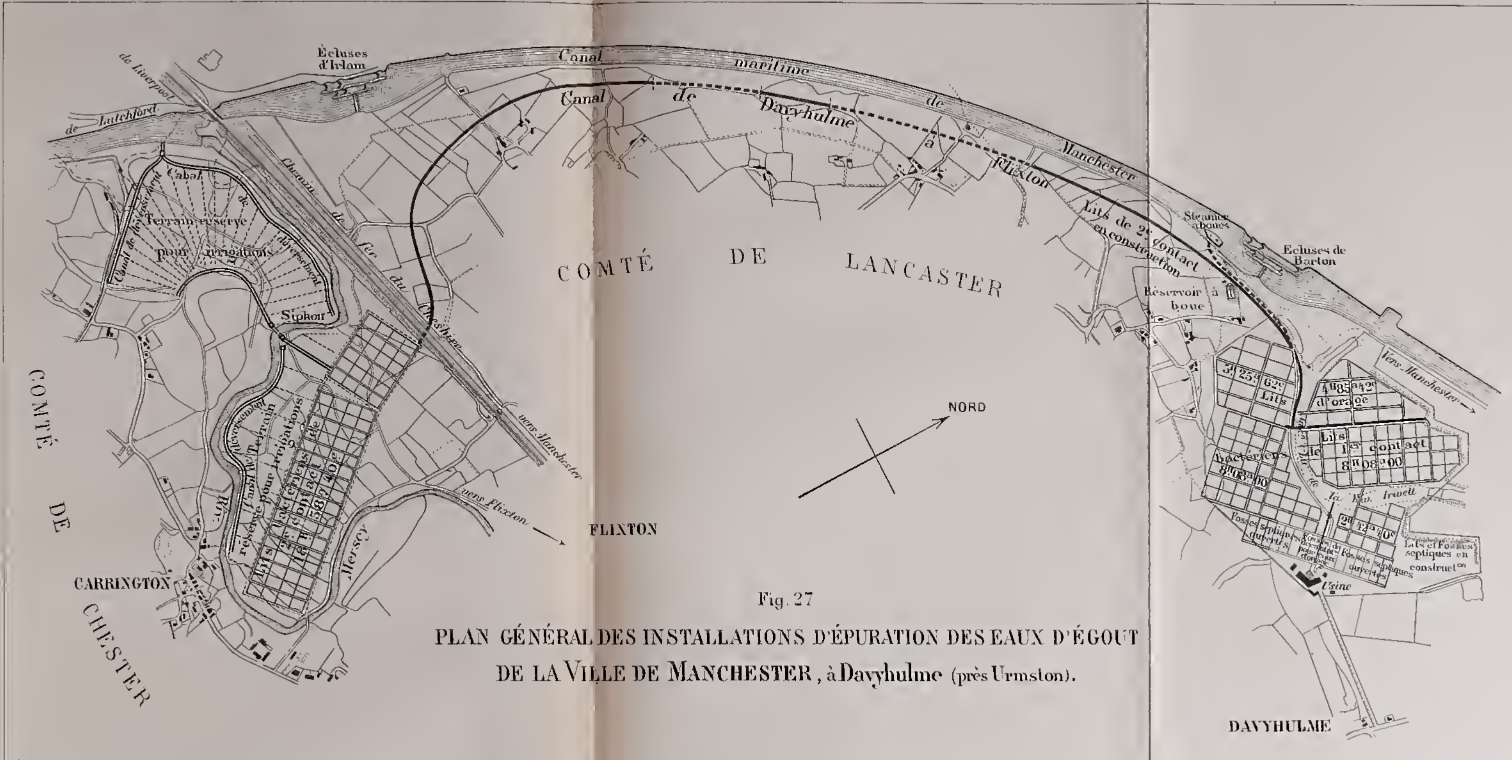


Fig. 27

PLAN GÉNÉRAL DES INSTALLATIONS D'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT DE LA VILLE DE MANCHESTER, à Davyhulme (près Urmston).

E. Morieu, Gr. Imp. Dufrénoy, Paris.

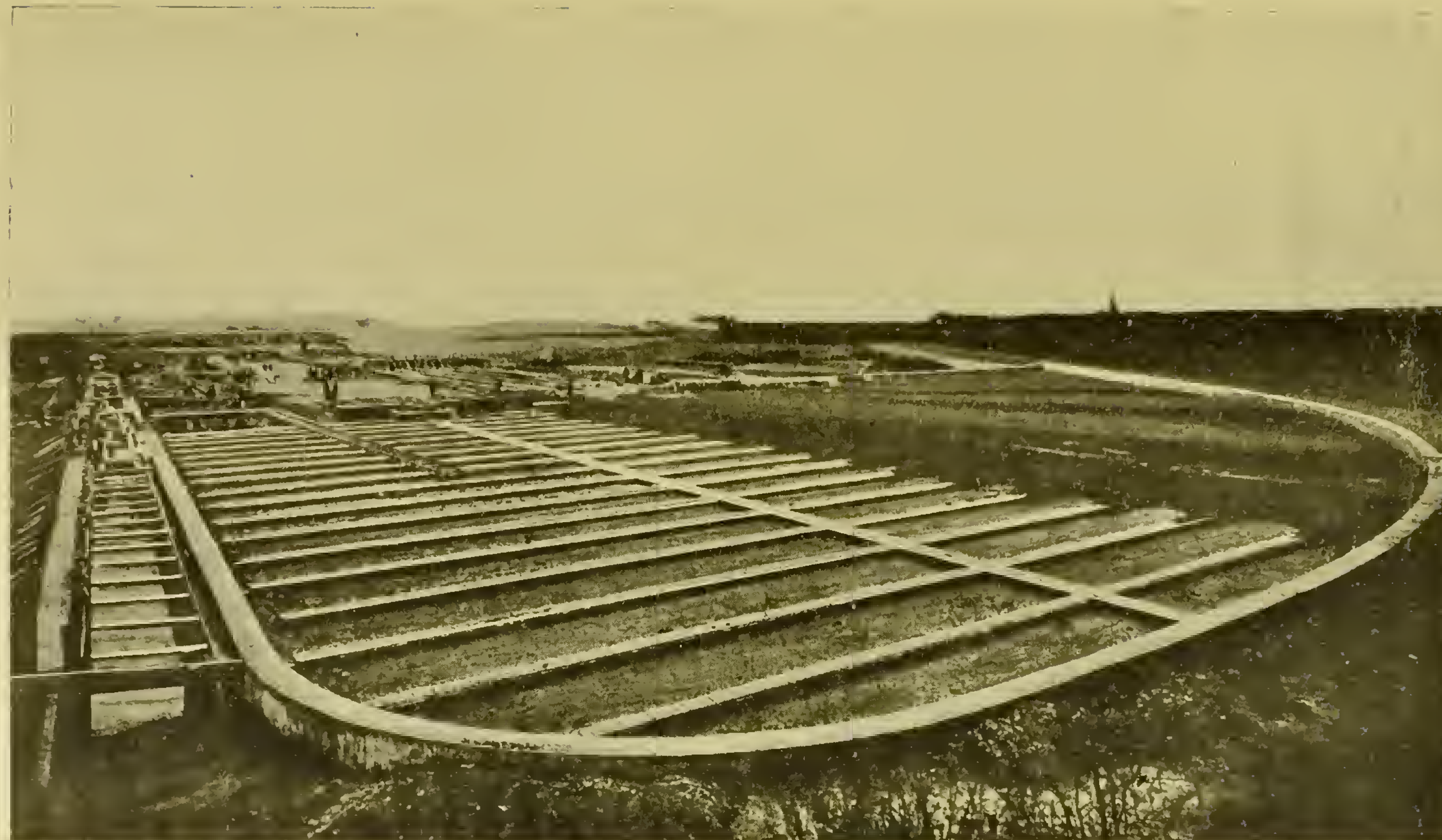


Fig. 29. — Lits bactériens pour les eaux d'orage, n° 15, en partie achevé, pendant le garnissage avec les scories. (Manchester.)

n'étant pas terminés, ce vapeur a fait 125 voyages et a transporté 21 000 tonnes. Chaque année le nombre des voyages diminue.

Avec l'épuration chimique, la quantité de boues produite était de 1 tonne pour 525 mètres cubes à 88 pour 100 d'eau, alors qu'elle n'est plus que de 1 tonne pour 758 mètres cubes, à 85 pour 100 d'eau seulement, pour le sewage traité par fermentation septique.

Encore doit-on observer que ce sewage ne subit aucune décantation préalable, et que toutes les matières en suspension qui échappent aux grilles pénètrent dans les fosses.

La durée de séjour de l'eau en fosse septique est seulement d'environ 16 heures. Elle est ensuite distribuée par une série de canaux à ciel ouvert aux différents lits de contact, le remplissage et la vidange de chaque lit s'effectuant à la main, au moyen de vannes et de déversoirs en éventail.

Sur les lits, le liquide se répartit dans des rigoles disposées en rayonnant à la surface des scories, et le fond de ces mêmes lits porte un système de drainage en arête de poisson, l'extrémité de l'arête principale correspondant au niveau le plus bas où se trouve la vanne de vidange (*fig.* 28).

Les lits travaillent suivant la période de 8 heures (1 heure pour le remplissage, 2 heures de plein, 1 heure pour la vidange et 4 heures d'aération), à raison de trois périodes par jour de 24 heures, avec un débit moyen de 1 mètre cube par mètre carré et par jour.

En temps de pluies, tout l'effluent non épuré est filtré sur les lits d'orage (*fig.* 29 et 30).

On a trouvé que, le plus souvent, un seul contact suffisait à assurer la disparition des matières organiques, au point de rendre l'effluent imputrescible, même après incubation à 30°.

Quoiqu'il en soit, comme les eaux épurées doivent être rejetées dans un canal navigable, le *Local Government Board* exige que le système d'épuration comprenne des lits de second contact qu'on a commencé à construire à *Flixton* et à *Barton*, à une courte distance de *Davyhulme*.

Le coût des installations s'est élevé au total à 12 millions de francs. M. *Gilbert Fowler* déclare qu'il faut compter, avec le système du double contact, sur une dépense moyenne d'en-

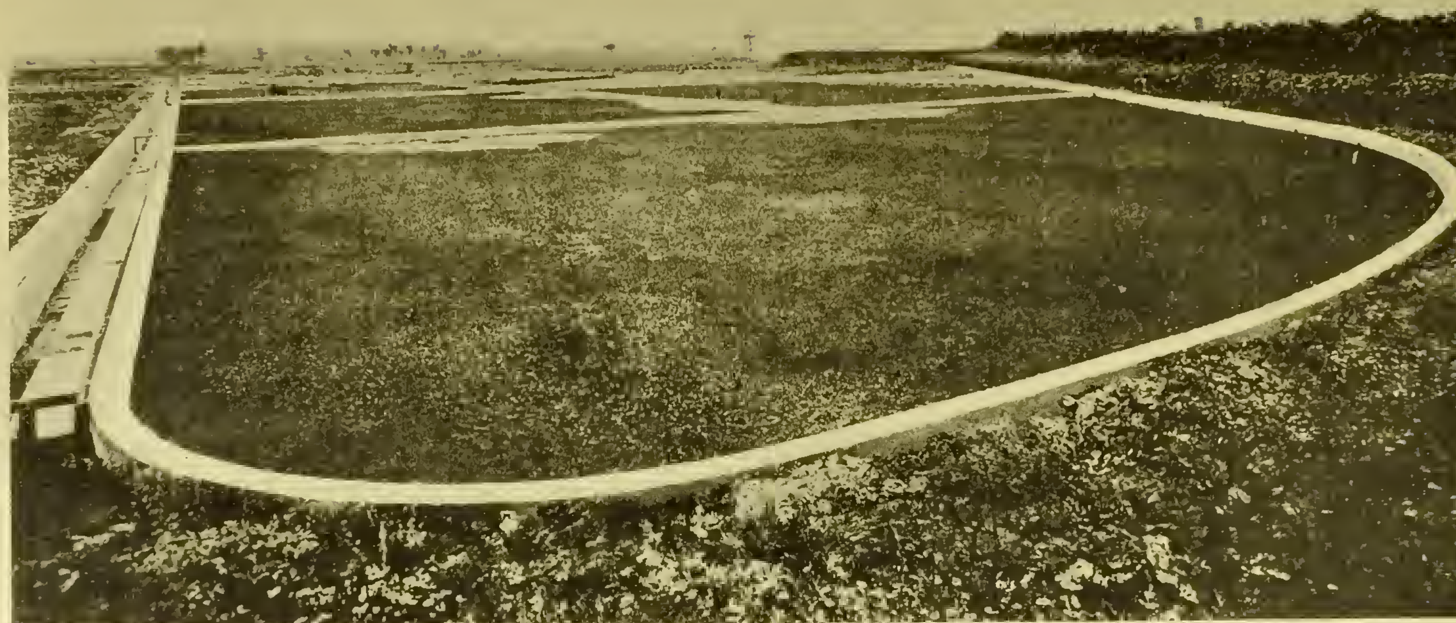


Fig. 50. — Lits bactériens pour les eaux d'orage, nos 10, 13, 14 et 15 achevés et mis en service.
(Manchester.)

tretien de 1 *franc par* 1000 *mètres cubes d'eau traitée*, non compris les grosses réparations qu'on ne peut pas prévoir.

D'après lui, les lits bactériens percolateurs sont plus coûteux que les lits de contact pour leur premier établissement, et ils ne justifient que dans certaines conditions cette augmentation de dépenses.

Partout où l'on est obligé de pomper les eaux d'égout pour les distribuer à des Sprinklers, les lits de contact sont plus avantageux : c'est le cas de *Manchester*, de *Burnley*, d'*Oldham*.

50. Oldham. — *Oldham* est le centre principal des manufactures de coton en Angleterre. Sa population est de 154 000 habitants et elle produit en moyenne, en temps sec, 12 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour.

Le sewage renferme une très grande proportion de résidus industriels qui en rendent l'épuration très difficile. On le fait décanter d'abord dans une série de deux grands bassins de 1000 mètres cubes de capacité, et l'un de ces bassins a été transformé, pour expériences, en fosse septique couverte. Les boues extraites de ces bassins contiennent en abondance de l'acide stéarique et des graisses dont *M. A.-H. Valentine*, chimiste, directeur technique de la station, se propose de tirer parti.

On a construit 4 hectares 800 de lits bactériens à simple contact, garnis de scories, sur le modèle de ceux de Manchester.

Les résultats de l'opération sont satisfaisants, quoique forcément imparfaits. On élimine 75,4 pour 100 de la matière organique et 56,7 pour 100 de l'azote albuminoïde. On trouve, dans l'effluent, 12,2 pour 100 de l'ammoniaque transformée en nitrates ou en nitrites.

51. Richmond. — Transformation d'une installation d'épuration par précipitation chimique.

Chambres à sable en V, de façon à conduire les boues dans un réservoir.

Septic tanks : capacité 682 mètres cubes, profondeur $1^{m},85$.

Le fond est incliné à 1/70.

Bassin collecteur de 48 mètres cubes.

Lits à double contact de 0^{m},91 de profondeur, et de 78 mètres cubes de capacité totale, drainés par une série de drains de 10 à 15 centimètres.

Remplissage et vidange automatiques par siphons d'Adams.

Pourcentage de purification obtenue :

	Azote albuminoïde	Oxygène absorbé en 15 minutes
	—	—
Effluent des Septic Tanks	17 %	12 %
Effluent des lits de 1er contact	60,9 %	50,9 %
— 2e contact	78 %	74 %

52. Salford. — *Salford*, dont la population est de 220 000 habitants, fait partie de l'agglomération de *Manchester*, dont elle représente le plus important faubourg.

Son réseau d'égout reçoit une masse énorme d'eaux résiduaires industrielles et relativement peu de produit des water-closets, la moitié environ des maisons ayant encore des tinettes mobiles ou des fosses fixes.

Le volume normal d'eau évacuée par temps sec est de 56 000 mètres cubes; il peut aller par temps de pluie jusqu'à 175 000 mètres cubes. Un quart seulement du sewage atteint par gravitation l'usine; les trois autres quarts sont relevés par des pompes à vapeur à la station d'épuration.

Après passage à travers les grilles, le flot passe dans un *mélangeur* où il reçoit une mixture de chaux et de sulfate ferreux (0^{gr},05 de chaux et 0^{gr},02 de sulfate ferreux par litre). On le dirige ensuite par deux canaux vers *dix* bassins de précipitation qui ont chacun 55 mètres de longueur sur 24 mètres de largeur, et de 1^{m},80 à 2^{m},70 de profondeur, soit une capacité de 22 715 mètres cubes (*fig.* 51).

Ces bassins, munis de vannes de fond, permettent d'évacuer les boues sans les draguer, et d'envoyer celles-ci dans un large réservoir d'où on les refoule par des pompes jusqu'à un navire de 600 tonnes qui les transporte périodiquement à une distance de 60 milles environ en mer, à l'embouchure de la Mersey. Ce navire fait, en moyenne, 250 voyages par an.

L'effluent des bassins de précipitation est dirigé sur six filtres dégrossisseurs, à travers une épaisseur de 0^{m},50 de gravier de calibre mélangé de 7 à 50 millimètres, qu'on peut

nettoyer par un système de barbotage d'air, deux ou trois fois par jour.

Ces filtres travaillent normalement à raison de 215000 mètres cubes par hectare et par jour.

Toutes ces installations de bassins et de filtres pour la précipitation chimique occupent une surface de près de 5 hectares.

L'épuration proprement dite de l'effluent chimique est réa-

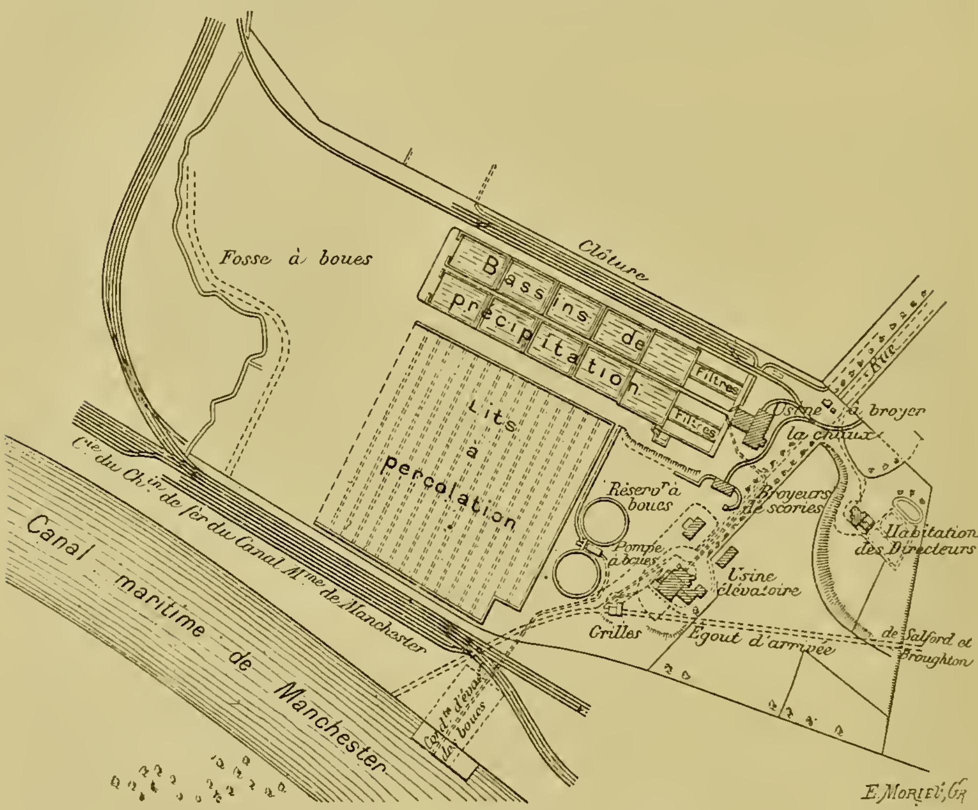


Fig. 51. — Station d'épuration à Salford.

lisée par un vaste lit bactérien à becs pulvérisateurs (*trickling bed*), de 2 hectares et demie de superficie, divisé en deux parties, l'une de 1^m,50, l'autre de 2^m,40 de profondeur.

Le lit est exclusivement formé de mâchefer qui a coûté environ 6 francs la tonne après criblage. Toute sa surface est traversée par des tuyaux posés en lignes parallèles sur les scories, et chaque tuyau porte des becs pulvérisateurs verticalement dirigés (*fig.* 52), qui arrosent chacun une étendue d'environ 5 mètres carrés avec des intermittences de repos de 2 heures pour 2 heures de travail.

Le drainage est constitué par un revêtement continu de tuiles plates triangulaires et perforées, formant mosaïque.

Le plateau des tuiles est maintenu à 15 centimètres du fond par des tabourets ou talons.

Le coût de ces lits à percolation a été de 45 francs par mètre carré, soit 450 000 francs par hectare.

L'inconvénient de ce système, en dehors de son prix de revient beaucoup trop élevé, est que la pulvérisation de l'eau d'égout dégage dans l'atmosphère, jusqu'à une assez grande distance, une odeur fort désagréable.

La station d'épuration de *Salford* a été créée et est actuellement dirigée par un ingénieur du plus haut mérite, *M. Joseph Corbett*. C'est lui qui, le premier, eut l'idée de pulvériser verticalement l'eau d'égout à la surface des lits bactériens pour faciliter les réactions d'oxydation de la matière organique.

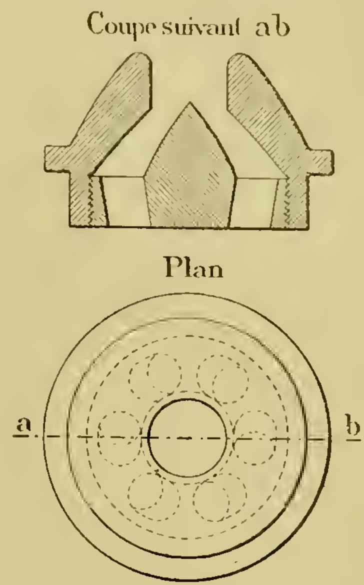


Fig. 52. — Type de bec pulvérisateur employé par la ville de Salford.

55. Salisbury. — *Salisbury* est une jolie ville de 18 000 habitants, que sa cathédrale a surtout rendue célèbre. Une partie importante de son réseau d'égout fonctionne d'après le système séparatif. Elle produit en temps sec environ 2500 mètres cubes d'eau d'égout, mais la puissance de son usine d'épuration correspond à 8000 mètres cubes. La totalité de ce volume passe dans des fosses septiques, mais les trois quarts seulement de l'effluent de ces fosses peut être biologiquement épuré. Jusqu'en 1901 on employait la précipitation chimique, puis, sous les directions successives de *MM. A.-C. Botham* et *John Hamlin*, et les conseils du *Dr Samuel Rideal*, on se décida à installer des lits bactériens percolateurs.

L'eau d'égout est amenée par gravitation à une chambre à grilles, d'où elle se répartit entre 4 bassins communicants, dont la capacité totale est de 2500 mètres cubes.

De ces bassins, le liquide est refoulé par des pompes *Wor-*

thington à 4 mètres de hauteur dans deux fosses septiques, qui ont ensemble 4545 mètres cubes de capacité et 4^{m},80 de profondeur. Le volume des boues qu'on en extrait actuellement n'est plus que le *dixième* de celui qu'on enlevait autrefois des bassins de précipitation chimique.

Des fosses septiques, l'effluent se distribue à cinq lits percolateurs, dont trois sont munis de Sprinklers de *S.-H. Adams*, et deux de Sprinklers de *F. Wallis Stoddart*.

Chaque lit a une superficie de 418 mètres carrés sur 1^{m},80 de profondeur. Tous sont constitués par une première couche de briques concassées, disposées sur une aire en ciment et formant drainage, puis par des scories. Les Sprinklers d'*Adams* travaillent à raison de 4500 litres par mètre carré et ceux de *Stoddart* seulement à raison de 2000 litres. Les résultats des uns et des autres sont à peu près les mêmes.

L'eau épurée est débarrassée des particules en suspension par un passage sur des filtres intermittents dits *secondaires*, d'une surface un peu moindre que celle des lits percolateurs primaires. L'effluent de ces filtres donne toute satisfaction.

54. Shipley. — En 1898, le débit journalier était de 2958 mètres cubes. L'installation est prévue pour 3 fois ce débit, soit 8874 mètres cubes.

Les eaux sont envoyées 1/10e par gravitation, 9/10e par pompage dans une triple série de bassins de 2^{m},44 de profondeur et d'une capacité de 1704 mètres cubes. Il y a un trop-plein de 10 mètres de long pour les pluies d'orage qui se rendent dans un lit spécial.

Les eaux s'écoulent alors dans 24 lits aménagés en 2 séries de 12 lits pour effectuer un double contact et couvrant une surface de 14 175 mètres carrés. La distribution est obtenue sur les lits par un déversoir demi-circulaire et des rigoles de surface radiantes.

Le lit d'orage a une surface de 12 140 mètres carrés.

55. Sregness (lincolnshire). — Les eaux résiduaires de *Sregness* étaient, jusque dans ces dernières années, employées en irrigation sur les terres ; mais, par suite de l'accroissement rapide de la population et des odeurs abominables dégagées

par l'épandage, la ville a dû recourir à un autre moyen d'épuration.

La population varie de 5500 habitants en hiver à une moyenne de 10 000 en été avec un maximum de 20 000 à certains jours.

Les eaux sont amenées par éjecteurs et pompes dans une chambre à sable de petite dimension, dans laquelle les corps minéraux lourds se déposent, puis elles coulent dans une fosse circulaire genre *Dortmund* de 6^m,86 de diamètre. Les eaux débouchent au centre par un tuyau dirigé vers le bas à 3^m,35 de la surface. Au-dessous du plan de l'arrivée d'eau, la fosse a une forme de cône renversé.

Les matières lourdes, entraînant les matières en suspension, se déposent au fond à une profondeur de 5^m,80, d'où elles sont continuellement évacuées, pour traitement ultérieur, par un tuyau immergé dans un septic tank. Les eaux décantées sortent par des ouvertures nombreuses sur le pourtour et par deux tuyaux au centre. Les eaux de surface et de fond (environ 20 pour 100), sont dirigées dans le septic tank. Le reste va directement aux lits bactériens et est ainsi oxydé presque à l'état frais. Le septic tank, dans lequel les eaux séjournent vingt-quatre heures, est de forme rectangulaire, mesurant 16 mètres sur 6^m,10, et 2^m,45 de profondeur. Il contient environ 242 mètres cubes. L'entrée et la sortie sont immergées de façon à faciliter la production des croûtes superficielles.

A la sortie, les eaux sont mélangées aux eaux clarifiées. Le septic tank est muni d'une évacuation des boues au fond et, aux deux tiers de la hauteur, d'une vanne pour la décantation de l'eau si cela devenait nécessaire.

L'oxydation s'opère sur deux filtres circulaires à percolation de 27^m,40 de diamètre et 1^m,85 de profondeur. Un dispositif permet d'obtenir un arrêt de fonctionnement 5 fois par jour pour permettre l'aération plus grande. Pour faciliter l'aération et amener toujours de l'air jusqu'au fond du lit, les drains sont tous reliés entre eux et une sorte de siphonnage intermittent fait des appels d'air.

L'épuration est excellente, l'effluent est chargé de nitrates, clair et inodore. Par ce dispositif, environ 80 pour 100 du sewage est traité une heure et demie après son arrivée, ce qui

évite les odeurs qui se dégagent des bassins où toutes les eaux séjournent vingt-quatre heures.

Le coût a été pour l'installation de 67 200 francs.

56. Sutton. — Ville de 18 000 habitants, à peu de distance de Londres. Égouts du système séparatif. A d'abord essayé l'épuration chimique par la chaux et le sulfate de fer, en 1891. Celle-ci a été abandonnée à cause des dépenses trop élevées qu'elle entraîne et à cause des boues. Depuis 1899, on y emploie exclusivement le système biologique et on traite 2500 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Fosse septique de 450 mètres cubes de capacité dans laquelle l'eau séjourne quatre heures et demie. Profondeur $2^{m},50$ à 3 mètres, superficie 200 mètres carrés. L'accumulation des boues dans la fosse est de 25 millimètres par mois. Tous les dix mois on enlève ces boues, on les sèche et on les utilise comme engrais.

L'eau s'écoule alors par un siphon dans les lits de 1er et de 2e contact qui fonctionnent par périodes de huit heures. Les lits de 1er contact ont une superficie totale de 800 mètres carrés et $1^{m},50$ de profondeur. Ils sont garnis de scories de 12 à 100 millimètres. Les lits de 2e contact n'ont qu'un mètre de profondeur et une surface de 1600 mètres carrés. La grosseur des scories y est de 3 à 25 millimètres.

L'épuration est excellente; elle atteint 80 à 90 pour 100.

57. Sutton-in-Ashfield. — Population de 16 500 habitants.

Chambre régulatrice avec trop-plein conduisant les pluies d'orage dans 2 lits spéciaux en scories.

2 chambres à sable pour enlever les détritus et corps lourds.

4 fosses septiques de 1145 mètres cubes de capacité, dans lesquelles le sewage coule lentement.

Au sortir des fosses septiques, les eaux sont conduites par un canal à 8 lits bactériens sur lesquels elles sont distribuées par des Sprinklers ne fonctionnant qu'alternativement pour obtenir des temps d'aération.

L'effluent est ensuite utilisé pour l'irrigation de $8^{hect},09$.

58. Swinton. — 20 000 habitants. Beaucoup de fabriques.

L'eau est extrêmement sale : les teintureries la colorent plus ou moins; les blanchisseries y introduisent beaucoup de chlore.

Système unitaire : 2 déversoirs d'orage en cas de crue. L'eau parcourt un égout pendant une à deux heures avant d'atteindre le champ d'épuration distant de $1^{km},500$.

2700 mètres cubes en vingt-quatre heures, dont 450 mètres cubes d'eaux de fabriques. L'eau traverse d'abord une grille qui retient les corps flottants. Autrefois, épuration par le *Ferrozone-Polarite*.

Aujourd'hui, l'eau est traitée par la chaux et le sulfate de fer, 80 grammes de chaque par mètre cube, puis elle passe dans des lits de clarification. L'eau y séjourne quatre heures, puis elle est décantée. Les boues sont envoyées sur un champ de 8 hectares. L'eau ainsi traitée, est envoyée sur des lits de contact : il y a 2 contacts de 5000 mètres carrés de surface chaque; une heure de remplissage, deux heures de plein, une heure de vidange, quatre heures de repos. On peut épurer ainsi jusqu'à 8000 mètres cubes en cas de pluie.

La vidange des lits se fait par les appareils automatiques de la firme *Mather et Platt*. Des appareils du même genre servent au remplissage.

Prix : 650 000 francs; 55 francs par habitant.

59. Uxbridge. — Cette petite ville, située à 30 kilomètres environ dans la banlieue ouest de Londres, compte 12 000 habitants.

Les industries de toutes sortes (tanneries, brasseries, blanchisseries) y sont nombreuses; aussi son sewage est-il assez chargé. Son volume moyen représente environ 3600 mètres cubes par jour, mais il peut s'élever à 10 000 mètres cubes en temps de pluie, car le système d'égouts est unitaire.

On emploie depuis 1901 le système F. Candy (Sprinkler sur lit de carboferrite) sans fermentation septique préalable.

Les eaux sont décantées dans un premier bassin circulaire de $4^m,50$ de diamètre, disposé en entonnoir de manière à faciliter le dépôt des boues qui s'accumulent dans la partie conique et peuvent être évacuées à l'extérieur au moyen d'une vanne. De ce premier bassin elles se rendent par un canal ouvert à

trois autres bassins dits *préparateurs*, de 540 mètres cubes de capacité chacun, et de 20 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur. Elles y séjournent quatre heures au moins et cinq heures au plus et ce délai suffit pour liquéfier la plupart des particules de matières azotées solides.

L'effluent de ces bassins s'écoule par un déversoir dans une rigole qui le conduit jusque dans l'axe de 5 lits bactériens à Sprinklers.

Deux de ces lits ont 12 mètres de diamètre et trois $22^m,50$.

Les Sprinklers respectifs sont à deux et quatre bras. La surface totale des lits est de 1200 mètres carrés environ. Seuls les grands lits sont formés de deux couches de scories entre lesquelles est étalée une couche de carboferrite [1].

La composition chimique du carboferrite, d'après *Naylor*, est la suivante :

Peroxyde de fer et oxyde magnétique	54,52
Alumine	6,21
Chaux	0,98
Magnésie	7,24
Silice	24,92
Eau	6,15

C'est une substance à pores très fins, qui a la propriété de condenser l'oxygène à sa surface. *M. Candy* lui attribue un rôle très efficace dans l'épuration.

Les Sprinklers de *Candy*, modifiés par *Wittaker*, présentent cette particularité intéressante qu'ils tournent pendant quelques instants, deux ou trois minutes, puis s'arrêtent et reprennent automatiquement leur mouvement de rotation. Ils réalisent donc l'arrosage *intermittent* des lits et c'est là une condition essentielle pour obtenir une bonne épuration.

Avec les autres systèmes, qui tournent constamment, on est obligé d'interrompre de temps en temps l'arrivée d'eau d'égout pour permettre aux scories de s'aérer.

A *Uxbridge*, les résultats de l'épuration sont tout à fait satisfaisants : celle-ci atteint 90 pour 100, avec un débit très élevé de 2700 litres environ par mètre carré et par jour.

On pourrait d'ailleurs la rendre plus parfaite en repassant

[1] Le *Carboferrite* ou Polarite est un produit breveté par M. Candy, préparé par calcination du carbonate de fer naturel.

sur un second lit à Sprinkler le liquide épuré par les premiers. Ce liquide renferme en effet presque toujours une assez grande quantité de matières en suspension noirâtres, échappées des scories, et qui sont constituées par des zooglées de microbes emprisonnant des parcelles de fer ou de charbon. On les sépare par une décantation finale dans un bassin dit *reviseur* avant de rejeter l'effluent dans la rivière.

Le dispositif de *Candy* réduit, en somme, considérablement la durée du séjour de l'eau d'égout en fosse septique, grâce à une décantation plus parfaite. Les résultats sont très satisfaisants, et plusieurs villes anglaises l'ont adopté en lui faisant subir des modifications appropriées aux circonstances locales.

Nous lui reprocherons seulement de ne pas échapper aux inconvénients que présentent tous les types de Sprinklers, c'est-à-dire de constituer un mécanisme délicat, coûteux et susceptible d'être arrêté ou contrarié par les vents.

Quoi qu'il en soit, il mérite d'être retenu parmi les appareils les plus ingénieux et les plus parfaits utilisés en Angleterre.

D'après *Candy*, une installation réellement complète de son système doit comprendre :

1° Un bassin de décantation ;

2° Une fosse de liquéfaction (*préparateur*) ;

3° Un premier lit à Sprinkler intermittent ;

4° Un deuxième bassin de décantation ;

5° Un second lit à Sprinkler intermittent ;

6° Un bassin de dépôt des particules solides entraînées par l'effluent.

La *figure* 33 montre en plan et en coupe la disposition et les dimensions respectives de ces divers appareils dans une installation *type*, et la *figure* 34 le mode de construction et de drainage des lits circulaires à Sprinklers de Candy-Wittaker (type de *Chester*).

40. Yeovil. — L'eau d'égout de *Yeovil* (population 14 000 hab.), présente un intérêt particulier en raison de l'énorme quantité de résidus de tanneries et de fabriques de gants qu'elle reçoit. Son volume moyen par temps sec est de 2270 mètres cubes et, en temps de pluie, il peut s'élever à 22 700 mètres cubes.

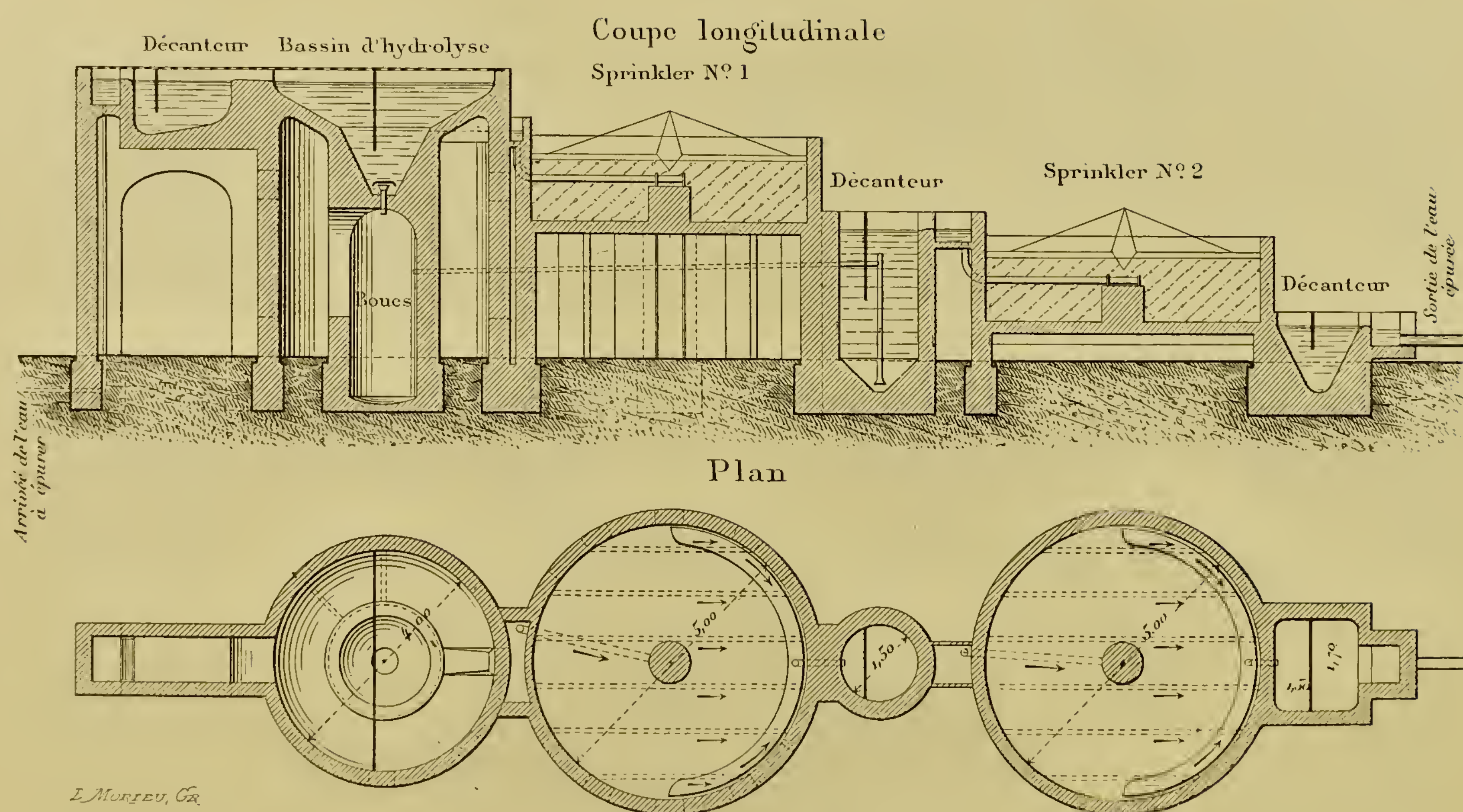


Fig. 55. — Schéma d'une installation d'épuration biologique d'après le système Candy-Wittaker.

La station d'épuration, dirigée par *M. Oddy* « Surveyor », fonctionne depuis 1903 et fut construite pour traiter 7000 mètres cubes environ par jour d'après le système *Cameron*.

Elle comprend 3 chambres à sables et 5 fosses septiques couvertes, ayant chacune $4^{m},20 \times 60$ mètres de longueur avec $1^{m},80$ de profondeur utile; 12 lits bactériens de 1er contact et 12 de 2e contact formant ensemble une surface de 88 ares pour un effluent de 2270 mètres cubes.

Les résultats de cette installation n'ont jamais été très satis-



Fig. 54. — Mode de construction et de drainage des lits circulaires à Sprinklers de Candy-Wittaker (type de Chester).

faisants en raison des difficultés que présente la surveillance du travail des fosses septiques fermées et du fonctionnement défectueux des appareils de distribution automatique.

41. York. — *York* a une population de 78 000 habitants et un réseau d'égout unitaire qui, par temps sec, évacue environ par gravitation 16 000 mètres cubes par jour, jusqu'à *Naburn*, où se trouve la station d'épuration. Celle-ci, dès 1894, avait adopté la précipitation chimique par le sulfate de fer et

d'alumine à raison de $0^{gr},06$ par litre. Mais les résultats furent si mauvais que le Local Government Board mit la ville en demeure d'étudier un système d'irrigation.

En avril 1899, on décida d'expérimenter l'épuration biologique et on construisit une fosse septique fermée et des lits bactériens à simple contact. Plus tard, on étendit les essais aux lits à double contact, puis aux lits percolateurs à Sprinklers et à la filtration intermittente sur gravier.

Les résultats obtenus avec les lits à percolation, alimentés par l'effluent des fosses septiques, furent si satisfaisants qu'on ne tarda pas à s'y arrêter. Du mois de mars à mai 1902 on traita ainsi 455 000 mètres cubes d'eau et on reconnut que la quantité de boues extraites n'était plus que 1/9 de celle que produisait la précipitation chimique.

On décida alors l'adoption du système biologique avec Sprinklers, sur la proposition de l'ingénieur *M. A. Creer*, et la ville était encore récemment en instance pour obtenir l'autorisation de contracter un emprunt destiné à la transformation complète de son assainissement.

42. Wealdstone. — 8500 habitants. Système séparatif dans une partie de la ville, unitaire dans l'ancienne partie.

Débit : 900 mètres cubes par 24 heures. Autrefois : procédé chimique; aujourd'hui on utilise les Sprinklers du système *Candy*. L'eau traverse d'abord 2 grilles, qui retiennent les gros corps flottants (nettoyage à la main 2 fois par jour); un trop plein permet d'envoyer sur des lits d'orage l'excès d'eau en cas de pluie trop abondante.

L'eau passe d'abord dans un bassin de dépôt où elle abandonne ses boues (capacité du bassin : 514 mètres cubes, séjour 7 à 8 heures), puis elle est envoyée aux Sprinklers. Les boues sont évacuées directement par une vanne de fond (2 mètres cubes par 24 heures).

Les lits à percolation ont une surface totale de 1100 mètres carrés. Remplissage : $1^{m},15$ de coke dans lequel est placé une couche de 25 centimètres de polarite à 50 centimètres de la surface. Les Sprinklers sont agencés de manière à être une minute en mouvement et deux minutes en repos. Épuration de 1 mètre cube à $1^{mc},15$ par mètre carré de surface. L'eau qui

sort des percolateurs est alors soumise à la filtration intermittente sur le sol.

Eaux très concentrées : 68 milligrammes d'ammoniaque par litre, 56 milligrammes d'azote albuminoïde. Épuration 98 % environ *au sortir des Sprinklers*.

Prix : 170 000 francs (25 francs par tête d'habitant). Frais d'épuration, 1 centime 25 au mètre cube.

CHAPITRE VII

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE EN ALLEMAGNE ET EN HOLLANDE

Depuis quelques années, il s'est produit en Allemagne un mouvement très actif vers l'étude des procédés d'épuration des eaux résiduaires. Les excellents résultats obtenus en Angleterre par l'application des procédés biologiques ont attiré l'attention des hygiénistes allemands, qui ont entrepris aussitôt l'examen de ces méthodes. M. le professeur Dunbar, directeur de l'Institut d'hygiène de Hambourg, a notamment poursuivi, depuis plus de dix ans, d'importantes études théoriques et pratiques sur cette question. Dès 1895, Dunbar faisait installer à Hambourg une station expérimentale pour l'étude des procédés d'épuration des eaux résiduaires, et particulièrement, à partir de 1897, des procédés biologiques. L'Institut d'hygiène de Hambourg a ainsi poursuivi de nombreuses recherches, notamment sur la puissance épuratrice des méthodes biologiques, sur l'influence de la nature et de la grosseur des matériaux et des dimensions des lits bactériens sur l'épuration, sur les conditions pratiques du travail par ces méthodes.

Sous l'impulsion vigoureuse donnée par Dunbar, et aussi par d'autres savants tels que Schmidtmann, Günther, Thumm, etc..., l'étude de ces questions prit une extension de plus en plus grande. En 1900, les grandes villes et les sociétés industrielles de la Prusse déposaient au Ministère une pétition réclamant l'organisation d'un Institut central chargé spécialement de l'examen des questions d'approvisionnement des villes en eau potable et d'épuration des eaux résiduaires

Sur le rapport de M. le professeur Schmidtmann, l'État prussien votait, en 1901, les fonds nécessaires à l'organisation de cet Institut, dont le fonctionnement a commencé le 1er avril 1901, sous la direction des professeurs Schmidtmann et Günther.

Nous reviendrons, dans un rapport spécial, sur cet Institut pour l'étude de l'approvisionnement des villes en eau potable et de l'épuration des eaux résiduaires, et nous nous contenterons d'indiquer ici les grandes lignes de son fonctionnement.

Le rôle de cet établissement est le suivant :

1° Il doit étudier les questions qui se rattachent à l'approvisionnement des villes en eau et à l'épuration des eaux résiduaires, principalement au point de vue de l'hygiène des agglomérations urbaines.

2° Il doit faire les essais relatifs à ces études dans l'intérêt général.

3° Il doit exécuter, dans son domaine scientifique, les recherches et analyses qui lui sont soumises par les différents ministères, et aussi, contre rémunération, celles qui lui sont adressées par les autorités et par les particuliers.

4° Il doit centraliser toutes les études faites en Allemagne et à l'étranger sur ces questions d'eaux, et fournir ainsi tous les renseignements utiles aux autorités, aux communes et aux industries, avec tous les développements et perfectionnements que comporte la science du jour.

5° Il doit donner chaque année des séries de cours spéciaux pour les médecins des épidémies, les agents des ponts et chaussées et des différents ministères, pour les mettre au courant des questions qui les intéressent.

Au début, en 1901, l'Institut comprenait 7 personnes : 1 directeur, 4 chimistes et 2 botanistes. Il comprend aujourd'hui, c'est-à-dire cinq ans après son installation, 25 membres : médecins, chimistes, botanistes, bactériologistes, zoologistes et ingénieurs. Les analyses effectuées par les services de l'Institut rapportent 70 000 marks par an; le gouvernement prussien ajoute, à titre de subvention, la somme nécessaire pour porter le budget annuel à 130 000 marks. En outre, la Société pour l'approvisionnement en eau et l'épuration des

eaux résiduaires, constituée par 60 grandes villes et la plupart des grandes sociétés industrielles, donne par an, à titre de subvention, 50000 marks. L'établissement a ainsi à sa disposition une somme annuelle de 225000 francs.

Ces chiffres indiquent l'extension considérable qu'a pris cet Institut et fournit la meilleure preuve de son utilité et des services qu'il rend à la Prusse.

Il est particulièrement intéressant d'examiner quelles sont, à l'heure actuelle, les dispositions prises par les diverses villes allemandes au point de vue de l'épuration de leurs eaux résiduaires. Le Dr Salomon a pu réunir en un volume (¹) les diverses installations des villes situées dans les bassins de la Meuse, du Rhin et du Danube. Il résulte de cette enquête que sur 152 villes examinées, 69 font subir à leurs eaux un traitement d'épuration et 84 les évacuent sans aucun traitement.

Les 69 villes qui traitent leurs eaux se divisent ainsi :

Épandage. — 8 villes : Darmstadt, Dortmund, Enkirch, Freiburg-B, Laasphe, Mulhouse, Pfalzburg, Schweln.

Épuration purement mécanique dans des bassins de décantation. — 34 villes : Andernach, Bamberg, Barmen, Bernkastel, Bonn, Borbeck, Bottrop, Budingen, Cologne, Duisburg, Dusseldorf, Elberfeld, Erlangen, Eschweiler, Frankenthal, Frankfurt, Gelsenkirchen, Giessen, Godesberg, Grevenbroich, Herne, Lörrach, Mannheim, Marburg, München-Gladbach, Neuwied, Pfaffendorf, Rappenau, Saint-Johann, Süchteln, Trier, Viersen, Wiesbaden, Willich.

Épuration par clarification mécanique et chimique. — 6 villes : Baden-Baden, Bochum, Essen, Hambourg, Soest-i-W, Strasbourg.

Épuration par les procédés biologiques. — 21 villes, se subdivisant ainsi :

a) Sans fosses septiques et par procédés de contact, 11 villes : Bertrich, Hagen, Hanau, Idstein, Königstein, Langenberg, Langendreer, Remscheid, Ruttenscheid, Siegburg, Thionville.

b) Sans fosses septiques et par procédés à percolation, 5 villes : Ems, Huls, Kettwig, Königsfeld, Markirch.

(¹) *Die Städtische Abwässerbeseitigung in Deutschland*, Fischer, Iéna, 1906.

c) Avec fosses septiques et par procédés de contact, 2 villes : Brühl, Witten.

d) Avec fosses septiques et par procédés à percolation, 3 villes : Ludenscheid, Unna, Wilmersdorf.

On voit, d'après ce qui existe dans les bassins de la Meuse, du Rhin et du Danube, qu'un certain nombre de villes allemandes ont aujourd'hui adopté les procédés biologiques. D'autre part, M. K. Imhoff, dans son étude sur l'épuration biologique en Allemagne[1], signale dix-sept autres villes qui ont adopté l'épuration biologique, et dix-neuf petites installations d'asiles, de casernes, d'hôpitaux, pour l'épuration des eaux ménagères par les mêmes méthodes. Ces dix-sept villes sont : Beuthen in Oberschlesien, Binz auf Rügen, Borsigwalde bei Berlin, Brieg, Brockau bei Breslau, Culmsee, Haynau in Schlesien, Homberg bei Cassel, Langensalza, Lötzen, Merseburg, Mullheim an der Ruhr, Naumburg an der Saale, Weissensee bei Berlin, Stargard in Pommern, Tempelhof bei Berlin, Wilhelmsburg an der Elbe.

Nous donnerons dans ce qui suit quelques renseignements sur certaines de ces installations biologiques. Ces données sont empruntées en partie à l'ouvrage du Dr Salomon, signalé plus haut, en partie à l'ouvrage de M. K. Imhoff, et en partie à des documents personnels. Nous y avons ajouté enfin des renseignements sur la nouvelle épuration biologique installée à Stahnsdorf, près Berlin, par la ville de Wilmersdorf, installation qui est actuellement la plus grande d'Europe, et sur les dispositifs adoptés en Hollande par les villes d'Amsterdam et de Tilburg.

I. Aix-la-Chapelle. — La ville d'Aix-la-Chapelle a fait une installation d'essai d'épuration biologique de ses eaux d'égout. Cette installation peut traiter 725 mètres cubes par 24 heures. Elle comprend une fosse à sable, 2 fosses septiques et 8 lits bactériens, dont deux à percolation.

Les deux fosses septiques ont 15 mètres de large, 20 mètres de longueur, $1^{m},45$ de profondeur et contiennent 375 mètres cubes. A la suite de ces fosses se trouvent deux petites

[1] *Die biologische Abwasserreinigung in Deutschland*, Berlin, 1906.

chambres de 5 mètres carrés de surface qui servent à mesurer les eaux.

Les lits bactériens de contact sont répartis de la façon suivante : deux fonctionnent par simple contact : ils ont 8 mètres de largeur, 15 mètres de longueur et 1m,05 de hauteur, soit 126 mètres cubes de capacité. L'un est rempli de coke de 3 à 8 millimètres, l'autre de scories de 8 à 25 millimètres.

Les quatre autres lits fonctionnent par double contact. Les lits de premier contact ont 20 mètres de long, 10 mètres de large et 0m,65 de profondeur; les lits de second contact ont 10 mètres de long, 10 mètres de large et 0m,60 de profondeur. Pour la répartition de l'eau à la surface des lits, on a utilisé des gouttières en bois ou des tuyaux en terre.

Enfin les deux lits à percolation sont également différents : l'un a l'aspect d'un octogone, formé par des murs percés d'orifices, et le fond de ce lit forme une fosse avec évacuation dans le canal; sa hauteur est de 1 mètre et sa capacité de 50 mètres cubes. Il est divisé en deux parties égales; l'une est remplie avec du coke et l'autre avec des scories de 25 à 60 millimètres de grosseur. L'autre lit à percolation est formé par un carré de 10 mètres de côté et de 1 mètre de hauteur : il contient 100 mètres cubes.

Dans une période de travail de neuf mois, on a retiré chaque jour 0mc,4 de boues de la fosse à sable. Les lits de premier contact ont fonctionné toutes les huit heures et ceux de second contact toutes les quatre heures.

Le meilleur résultat a été obtenu avec les lits à percolation. L'épuration avec un seul contact a varié de 56 à 69 °/0; avec double contact, de 54 à 69 °/0; avec les lits à percolation, de 73 à 77 °/0.

Les résultats ont été encore satisfaisants avec les charges suivantes :

Simple contact : 1 mètre cube d'eau par mètre cube de lit.

Double contact : 0mc,66 d'eau par mètre cube de lit.

Percolation : 1mc,55 par mètre cube de lit.

L'installation a coûté 25600 marks, soit 52mk,55 par mètre cube d'eau à traiter journellement, ou 5mk,65 par tête d'habitant.

2. Bertrich. — Bertrich est une ville d'eaux de 410 habitants, mais qui reçoit 4000 étrangers dans la saison.

L'épuration biologique se fait seulement pendant l'été, par lits bactériens et sans fosse septique.

L'installation comprend deux lits de $4^{m},50$ sur 5 mètres et de $1^{m},60$ de hauteur, précédés de deux chambres à sable. Le fonctionnement des lits a lieu parfois 4 fois par 24 heures, quand l'eau est abondante, à raison de 2 heures 1/2 de plein et de 2 heures 1/2 d'aération par période. Les lits sont faits de coke et de scories de 4 à 6 millimètres de grosseur.

Le coût de l'installation a été de 6000 marks, et les dépenses annuelles s'élèvent à 400 marks. Les résultats de l'épuration sont satisfaisants.

3. Beuthen in Oberschlesien. — Le nombre d'habitants rattachés à la canalisation d'égouts est de 55 000. Le système est unitaire et le sewage est composé des eaux de pluie, des eaux ménagères et des matières fécales; il contient peu d'eaux industrielles. La quantité maxima d'eau à épurer par jour atteint 6300 mètres cubes; elle est ordinairement de 4000 mètres cubes, soit 73 litres par tête d'habitant.

La station d'épuration, qui est en fonctionnement depuis octobre 1904, se compose d'une fosse à sable, de quatre fosses septiques couvertes et de lits à percolation. Les fosses septiques ont une capacité totale de 2400 mètres cubes, soit $0^{mc},60$ par mètre cube d'eau et par jour pour un effluent normal, ou $0^{mc},38$ par mètre cube d'eau et par jour pour le volume maximum de l'effluent. Cette capacité des fosses septiques correspond à 44 litres par tête d'habitant. Les lits à percolation ont une surface totale de 9000 mètres carrés, une hauteur de $1^{m},50$ et un volume de 13 500 mètres cubes. Ils sont composés de scories de 60 à 150 millimètres de grosseur, sauf à la surface, qui est formée de fins matériaux. On voit qu'on utilise pour 1 mètre cube d'eau par jour une surface de $2^{mq},25$ à $1^{mq},43$ suivant le débit de l'effluent, ou un volume de lit de $3^{mc},38$ à $2^{mc},14$. Le volume total des lits correspond à 245 litres par tête d'habitant. On a prévu avant les fosses septiques une rigole pour la désinfection des eaux au moyen du chlorure de chaux. L'eau sortant des lits percolateurs est envoyée au

ruisseau. Les dépenses se sont élevées à 550 000 marks, non compris l'achat du terrain, soit 10 marks par tête d'habitant, et 158 marks par mètre cube d'eau traitée journellement.

4. Binz auf Rügen. — Le nombre d'habitants rattachés à la canalisation d'égouts est de 4000. Le système est séparatif: le sewage est constitué par les eaux ménagères et les matières fécales. Il n'y a pas d'eaux industrielles. La quantité d'eau à épurer atteint en moyenne 450 mètres cubes, soit 112 litres par tête d'habitant.

L'installation, qui est en fonctionnement depuis 1900, épure ces eaux par fosse septique et lits bactériens de contact. L'eau, envoyée par un éjecteur Shone, passe d'abord dans un puits de décantation, puis dans des fosses septiques d'un volume total de 100 mètres cubes, soit 0^{mc},22 de capacité par mètre cube d'eau et par jour, et 25 litres par tête d'habitant. L'eau s'écoule ensuite sur deux lits bactériens de 156 mètres carrés de surface totale, de 1^{m},55 de hauteur, et de 210 mètres cubes de capacité. On ne fait qu'un seul contact. Ces lits sont formés de coke de 10 à 30 millimètres de grosseur. On utilise donc, pour 1 mètre cube d'eau par jour, une surface de 0^{mq},35, et un volume de 0^{mc},47. Le volume total des lits correspond à 52 litres par tête d'habitant. L'eau sortant des lits est traitée par l'épandage sur sol nu. Les frais de construction se sont élevés à 74 500 marks, soit 18^{mk},60 par tête d'habitant, et 166 marks par mètre cube d'eau traitée par jour.

5. Borsigwalde bei Berlin. — 3000 habitants sont rattachés à la canalisation, qui est du système séparatif. L'effluent contient les matières fécales, mais pas d'eaux industrielles. La quantité moyenne d'eau à épurer est de 80 mètres cubes par jour, soit 27 litres par tête d'habitant.

L'épuration se fait sans fosse septique, et par lits à percolation. L'eau est envoyée, par des pompes d'abord, dans une petite fosse ouverte, munie de grilles, qui retient les dépôts. Cette fosse a une capacité de 10 mètres cubes, soit 0^{mc},13 par mètre cube d'eau traitée par jour, ou 3 litres par tête d'habitant. L'eau passe alors sur une première série de lits percolateurs, puis sur une seconde série semblable. On fait donc

subir à l'eau deux traitements successifs. Ces lits sont composés de scories de 10 à 100 millimètres. L'étage supérieur a une surface totale de 450 mètres carrés, une hauteur de $1^{m},05$, un volume de 470 mètres cubes. L'étage inférieur a une surface de 400 mètres carrés, une hauteur de $0^{m},85$ et un volume de 340 mètres cubes. La surface des deux étages réunis atteint donc 850 mètres carrés et leur volume 810 mètres cubes. On voit qu'on utilise pour 1 mètre cube d'eau par jour une surface de $5^{mq},65$ au premier étage, et de 5 mètres carrés au second étage, soit $10^{mq},65$ en tout, ou $10^{mc},15$ de matériaux, ce qui correspond à un volume de 270 litres de lit par tête d'habitant.

L'eau, en sortant des lits percolateurs, passe dans un bassin de désinfection où elle est traitée par le chlorure de chaux, puis dans un petit filtre à coke. Les frais de construction se sont élevés à 50 000 marks, soit 10 marks par tête d'habitant et 375 marks par mètre cube d'eau traitée par jour.

6. Brieg. — L'installation reçoit chaque jour 2800 mètres cubes d'eau d'égout, correspondant à 26 000 habitants, soit 108 litres par tête et par jour. L'effluent comprend les eaux pluviales et ménagères, les matières fécales et un peu d'eaux industrielles. L'installation date de juillet 1902 ; l'épuration se fait sans fosse septique, par lits bactériens à un seul contact. L'eau traverse d'abord une fosse à sable, puis deux puits de décantation ouverts, d'une capacité de 220 mètres cubes, soit $0^{mc},08$ par mètre cube d'eau traitée par jour, ou 8 litres par tête d'habitant. L'eau passe alors dans les lits bactériens de contact, formés de coke de 5 à 10 millimètres, d'une surface totale de 1920 mètres carrés, d'une hauteur de $1^{m},50$ et d'une capacité de 2880 mètres cubes. Ils sont au nombre de six. Ces dimensions correspondent à une surface de $0^{mq},69$ et à un volume de $1^{mc},03$ par mètre cube d'eau traitée par jour, ou à 110 litres par tête d'habitant. L'eau, en sortant des lits bactériens, peut être désinfectée au moyen d'antiseptiques, avant de s'écouler dans l'Oder.

Les frais de construction se sont élevés à 231 000 marks, soit $8^{mk},90$ par tête d'habitant, et 82 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation et d'entretien

se montent à 5000 marks par an, soit $0^{mk},19$ par tête d'habitant : les frais de la station de pompes, compris dans ce chiffre, correspondent à 1500 marks. Si on compte l'intérêt à 5 pour 100 des frais de construction, on arrive à une dépense totale annuelle de 16500 marks, soit $0^{mk},64$ par tête d'habitant, et 1,6 pfennig par mètre cube d'eau traitée.

La boue humide enlevée des puits de dépôt atteint 10 mètres cubes par jour, soit $5^{l},6$ par mètre cube d'eau traitée et $0^{l},38$ par tête d'habitant. L'étendue nécessaire pour le traitement de ces boues est de $0^{hect},5$; on compte 500 mètres carrés pour les 10 mètres cubes de boues journalières, soit $0^{mq},12$ par tête d'habitant. On obtient après dessiccation à l'air $5^{mc},4$ de boues sèches par jour ; cette boue est vendue $1^{mk},20$ le mètre cube, et elle rapporte ainsi 1500 marks par an, soit 5,8 pfennig par tête et par an.

7. Brockau bei Breslau. — Brockau est une ville de 5000 habitants, qui produit en moyenne 120 mètres cubes d'eau par 24 heures, soit 24 litres par tête d'habitant; mais comme le réseau d'égouts est unitaire, les eaux de pluie font parfois monter ce volume à 500 mètres cubes par jour. L'effluent ne renferme pas d'eaux industrielles.

Le fonctionnement de l'installation a commencé en janvier 1904. L'épuration s'effectue par puits septiques [1] et par lits bactériens à un seul contact. L'eau arrive d'abord dans deux puits septiques circulaires fermés, d'une capacité de 79 mètres cubes, soit $0^{mc},66$ à $0^{mc},26$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, suivant le volume de l'effluent, ou 16 litres par tête d'habitant. Deux pompes aspirent l'eau des puits septiques, et l'envoient sur 6 lits bactériens. Ces lits sont formés de coke de 7 à 14 millimètres, leur surface totale est de 160 mètres carrés, leur hauteur de 2 mètres, leur volume de 320 mètres cubes. Ces chiffres correspondent à une surface de $1^{mq},33$ à $0^{mq},53$ et à un volume de $2^{mc},67$ à $1^{mc},07$ par mètre cube d'eau traitée par jour, suivant le volume de l'effluent. On voit qu'ils correspondent aussi à 64 litres de lit par tête d'ha-

(1). Ces puits sont disposés comme des décanteurs *Dortmund*, mais on laisse la fermentation septique s'y établir.

bitant. L'eau sortant des lits bactériens peut être désinfectée par des antiseptiques; elle est alors évacuée dans des fossés.

Les frais de construction se sont élevés à 44 000 marks, soit $8^{mk},80$ par tête d'habitant et 367 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation se montent à 3000 marks, soit $0^{mk},60$ par tête, y compris les dépenses de la station de pompes qui atteignent 1000 marks. En comptant l'intérêt à 5 pour 100 des frais de construction, on arrive à une dépense totale annuelle de 5200 marks, soit $1^{mk},04$ par tête d'habitant, et 11,9 pfennig par mètre cube d'eau traitée.

8. Bruhl. — Brühl est une ville de 6500 habitants, qui épure ses eaux par les procédés de contact, avec fosse septique.

L'installation comprend une fosse à sable de 30 mètres cubes avec dispositifs de râteaux pour arrêter les corps flottants. La fosse à sable alimente trois fosses septiques de 333 mètres cubes chacune; l'eau y séjourne de 24 à 30 heures, puis elle coule à un bassin d'alimentation dont le volume est égal au chargement d'un lit : un avertisseur électrique prévient quand il est plein.

Les lits bactériens ont une capacité utile de 50 mètres cubes; au-dessus, on dispose une couche de scories de 30 centimètres pour éviter les odeurs. Cette partie supérieure n'est jamais submergée. Les matériaux sont formés par du coke ou des scories de 5 à 12 millimètres. L'eau séjourne deux heures dans les lits; on ne fait que deux chargements par 24 heures.

L'eau sortant des lits bactériens est filtrée sur un filtre à sable de 500 mètres carrés.

On épure en moyenne 1200 mètres cubes par jour; les devis de l'installation se sont élevés à 90 000 marks.

9. Culmsee. — Culmsee compte 9700 habitants, dont 9000 sont rattachés à la canalisation. L'effluent contient peu d'eaux pluviales, peu d'eaux industrielles, les eaux ménagères et les matières fécales. La quantité maxima à épurer par jour est de 400 mètres cubes; la quantité moyenne est de 240 mètres cubes, soit 27 litres par tête d'habitant. L'installation fonctionne depuis mars 1903 : elle se compose d'abord de deux fosses de dépôt couvertes, de 50 mètres cubes de capacité,

soit $0^{mc},21$ à $0^{mc},12$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, suivant le volume de l'effluent, ou 6 litres par tête d'habitant. L'eau passe alors dans un bassin où elle est reprise par des pompes qui l'envoient sur des lits bactériens à double contact. Il y a trois lits de premier contact, formés de scories de 10 à 30 millimètres, d'une surface totale de 600 mètres carrés, d'une hauteur de 60 centimètres et d'un volume de 360 mètres cubes. Il y a de même 3 lits de second contact, dont les matériaux, plus fins, ont de 3 à 10 millimètres. La surface totale des lits de second contact est de 600 mètres carrés, leur hauteur de $0^{m},80$, et leur volume de 480 mètres cubes. On voit donc que la surface des lits de premier et de second contact atteint 1200 mètres carrés et leur volume 840 mètres cubes. Ces chiffres correspondent, pour les lits de premier contact, à $2^{mq},50$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, avec un effluent de volume normal, et également à $2^{mq},50$ pour les lits de second contact, soit en tout 5 mètres carrés par mètre cube d'eau à traiter par jour. Cette surface se réduit à 3 mètres carrés en cas d'augmentation du volume de l'effluent. Ces chiffres correspondent en outre à un volume de lit de $3^{mc},50$ à $2^{mc},10$ par mètre cube d'eau traitée par jour, suivant le débit de l'effluent, ou à 93 litres de lit par tête d'habitant. L'eau, en sortant du second contact, est évacuée dans des fossés.

Les boues humides retirées des bassins de dépôt se montent à 6 mètres cubes par jour, soit 25 litres par mètre cube d'eau traitée et $0^{l},67$ par tête d'habitant. Elles sont pompées et envoyées dans des fossés creusés dans le sol.

Les frais de construction se sont élevés à 45 000 marks, soit 5 marks par tête d'habitant et 188 marks par mètre cube d'eau à traiter par jour. Les frais d'exploitation se montent à 2700 marks par an (soit $0^{mk},30$ par tête et par an), dans lesquels les dépenses de la station de pompes entrent pour 1000 marks. En comptant l'intérêt à 5 pour 100 des frais de construction, on arrive à une dépense annuelle de 5000 marks, soit $0^{mk},56$ par tête d'habitant, et 5,7 pfennig par mètre cube d'eau traitée.

10. Chorzow bei Königshutte O. S. — Il s'agit ici d'une petite installation pour une usine d'électricité. Le nombre

d'habitants rattachés à la canalisation (séparative) est de 150. La quantité d'eau à épurer atteint 10 mètres cubes par jour, soit 67 litres par tête d'habitant. L'installation est en fonctionnement depuis août 1905. L'eau arrive d'abord dans une fosse septique couverte de 36 mètres cubes, soit une capacité de 3^{mc},6 par mètre cube d'eau à traiter par jour, et de 240 litres par tête d'habitant. L'effluent de la fosse septique se rend alors à des lits percolateurs à deux étages. Ces lits sont constitués par des morceaux de coke de 1 à 4 millimètres de grosseur. Leur superficie totale est de 24 mètres carrés, leur hauteur de 1^{m},30, leur volume de 31 mètres cubes. On voit qu'on a prévu une surface de lits de 2^{mq},40 et un volume de 3^{mc},10 par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 207 litres de lit par tête d'habitant. L'eau épurée est évacuée dans un étang. Les frais de construction se sont élevés à 4500 marks, soit 30 marks par tête, ou 450 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation se montent à 100 marks par an, soit 0^{mk},67 par tête. En comptant l'intérêt à 5 pour 100 du capital engagé, on arrive à une dépense annuelle de 325 marks, soit 2^{mk},17 par tête d'habitant et 8,9 pfennig par mètre cube d'eau traitée.

11. Ems. — Ems est une petite ville de 6492 habitants qui a adopté, pour l'épuration de ses eaux d'égout, les procédés biologiques, sans fosse septique, avec lits à percolation.

L'installation comprend :

1° Une chambre d'arrivée circulaire, de 1^{m},75 de diamètre;

2° Une fosse à boues, à fond conique, de 4^{m},50 de diamètre et de 5 mètres de profondeur;

3° Deux bassins cylindriques, de 6^{m},40 de diamètre et de 4^{m},50 de profondeur, appelés « préparateurs », où l'eau séjourne pendant trois heures;

4° Quatre chambres d'alimentation qui amènent l'eau à 4 lits bactériens circulaires de 16^{m},50 de diamètre et de 1^{m},25 de hauteur, remplis de scories et alimentés au moyen de Sprinklers;

5° Deux autres bassins préparateurs où s'écoule l'eau des lits bactériens;

6° Quatre autres lits bactériens à percolation, appelés lits

à carboferrite, où se rend l'eau venant des préparateurs précédents. Ces lits ont également $16^{m},50$ de diamètre et $1^{m},25$ de profondeur. Ils sont remplis de scories et de carboferrite, et alimentés aussi par des Sprinklers.

Les boues sont enlevées des chambres à boues et des préparateurs au moyen d'appareils mécaniques.

12. Flinsberg i. Isergebirge. — L'installation de Flinsberg a été faite pour une maison de santé qui reçoit 1000 personnes dans la saison d'été. Les eaux à épurer sont composées des eaux ménagères, des matières fécales et d'un peu d'eau de pluie. La quantité moyenne d'eau à traiter est de 200 mètres cubes par jour, soit 200 litres par tête d'habitant, mais cette quantité peut, dans certains cas, s'élever à 600 mètres cubes. L'installation fonctionne depuis sept ans. Elle se compose d'une grande fosse septique couverte et de quatre lits bactériens, deux de premier contact et deux de second contact. La capacité de la fosse septique est de 360 mètres cubes, soit $1^{mc},80$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 360 litres par tête d'habitant. Les lits de premier contact sont formés de coke de 10 à 30 millimètres de grosseur, et ceux de second contact également de coke, mais de 5 à 10 millimètres. La surface totale des lits est de 200 mètres carrés. leur hauteur est de $1^{m},50$ et leur volume de 300 mètres cubes, On voit donc qu'à 1 mètre cube d'eau traitée par jour correspondent 1 mètre carré de surface, $1^{mc},50$ de volume; par tête d'habitant, on arrive au chiffre de 300 litres de lit. L'eau épurée s'écoule dans deux étangs. Les frais de construction se sont élevés à 26 000 marks, soit 26 marks par tête d'habitant, ou 130 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation se montent à 600 marks par an, soit $0^{mk},60$ par tête d'habitant. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense annuelle de 1900 marks, soit $1^{mk},90$ par tête, ou 2,6 pfennig par mètre cube d'eau traitée.

13. Grabowsee bei Berlin. — Cette installation est faite pour une maison de santé de 220 habitants. La quantité moyenne d'eau à épurer est de 60 mètres cubes par jour,

soit 275 litres par tête. L'installation, qui fonctionne depuis 1899, se compose de fosses septiques couvertes et de deux lits bactériens à simple contact. L'eau est envoyée par un éjecteur Shone dans un puits de dépôt, puis dans les fosses septiques. La capacité de celles-ci est de 70 mètres cubes, soit 1^{mc},17 par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 318 litres par tête d'habitant. L'eau sortant des fosses septiques se rend aux lits bactériens de contact, formés de coke de 10 à 30 millimètres. Leur surface totale est de 120 mètres carrés, leur hauteur de 1^{m},30 et leur volume de 156 mètres cubes. Ces chiffres correspondent à 2 mètres carrés de surface et 2^{mc},6 de volume par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou à 709 litres de lit par tête d'habitant. L'eau épurée est évacuée dans des fossés pour l'épandage. Les frais d'exploitation se montent à 750 marks par an, soit 3^{mk},41 par tête d'habitant.

14. Grossschweidnitz i. Sachsen. — L'installation a été faite pour un asile d'aliénés de 600 malades. Les canalisations ne contiennent que les eaux ménagères et les matières fécales, mais pas les eaux de pluie. La quantité moyenne d'eau à épurer est de 120 mètres cubes par jour, soit 200 litres par tête; elle s'élève au maximum à 180 mètres cubes par jour. Le fonctionnement a commencé à la fin de 1901. L'eau est envoyée par des pompes dans deux fosses septiques couvertes, de 550 mètres cubes de capacité, ce qui correspond à 4^{mc},59 par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou à 917 litres par tête. L'eau se rend alors sur quatre lits bactériens : deux de premier contact, et deux de second contact, formés de coke de 2 à 5 millimètres. Leur surface totale est de 240 mètres carrés, leur hauteur de 1^{m},30, leur volume de 312 mètres cubes. On voit qu'à 1 mètre cube d'eau traitée par jour correspondent une surface de 2 mètres carrés, un volume de 2^{mc},60, et à un habitant correspond 520 litres de lit. L'eau épurée est envoyée au ruisseau.

Les frais de construction se sont élevés à 24000 marks, soit 40 marks par tête d'habitant et 200 marks par mètre cube d'eau à traiter par jour. Les dépenses d'exploitation se montent à 400 marks par an, soit 0^{mk},67 par tête. En comptant

5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense totale de 1600 marks par an, soit 2^{mk},67 par tête d'habitant, ou 3,7 pfennig par mètre cube d'eau traitée.

15. Hagen. — La ville d'Hagen possède une installation d'épuration biologique par les procédés de contact, sans fosse septique, pour 60 000 habitants.

Elle consiste en une chambre à sable, en un bassin de clarification pour l'enlèvement des dépôts, et en lits bactériens. Les lits sont construits avec de fins morceaux de charbon de bois, de 3 à 8 millimètres. Ils ont 40 mètres de long, 12 mètres de large et 1 mètre de hauteur.

Les boues qui sont extraites du bassin de clarification sont livrées à la culture.

16. Hohenhonnef a. Rhein. — Cette installation a été faite pour un sanatorium de 100 malades. La quantité moyenne d'eau à épurer atteint 30 mètres cubes par jour, soit 300 litres par tête. Le fonctionnement date de mai 1903. L'eau arrive d'abord dans deux fosses septiques couvertes, de 60 mètres cubes de capacité, soit 2 mètres cubes par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 600 litres par tête d'habitant. L'eau qui sort des fosses est alors désinfectée au chlorure de chaux, puis passe dans un petit filtre à coke, formé de morceaux de coke de 30 à 70 millimètres. Sa surface n'est que de 8 mètres carrés, sa hauteur de 0^{m},9 et son volume de 7^{mc},2, et il a pour but surtout de détruire l'antiseptique en excès et non pas d'assurer l'épuration. L'eau est alors évacuée dans le Rhin. Les frais de construction se sont élevés à 10300 marks, soit 103 marks par tête d'habitant, ou 330 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les dépenses d'exploitation sont faibles, et en comptant 5 pour 100 pour l'intérêt et l'amortissement du capital, on arrive à une dépense totale annuelle de 600 marks, soit 6 marks par tête d'habitant, et 5,5 pfennig par mètre cube d'eau traitée.

Cette installation n'est pas, à proprement parler, une installation biologique, mais un simple agencement de fosses septiques avec désinfection.

17. Hohenwiese i. Riesengebirge. — Cette installation a été faite pour une maison de convalescents comprenant 200 personnes. La quantité d'eaux résiduaires à traiter atteint 50 mètres cubes par jour, soit 250 litres par tête d'habitant. Le fonctionnement date du début de 1901. L'eau traverse d'abord une chambre à sable, puis deux fosses septiques couvertes, de 30 mètres cubes de capacité totale, soit $0^{mc},60$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 150 litres par tête d'habitant. L'eau se rend alors sur deux lits bactériens à un seul contact, formés de coke de 3 à 10 millimètres de grosseur. La surface totale de ces lits est de 150 mètres carrés : leur hauteur, $1^{m},30$; leur volume, 195 mètres cubes. On voit qu'à 1 mètre cube d'eau traitée par jour correspondent 3 mètres carrés de surface et $3^{mc},9$ de volume de lit, ou 975 litres de lit par tête d'habitant.

L'installation a coûté 33000 marks, soit 165 marks par tête d'habitant, ou 660 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation sont faibles. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense annuelle de 1900 marks, soit $9^{mk},50$ par tête d'habitant, ou 10,4 pfennig par mètre cube d'eau traitée.

18. Homberg bei Cassel. — Homberg est une petite ville de 3400 habitants. Le sewage comprend les eaux de pluie, peu d'eaux industrielles et peu de matières fécales. Le volume normal d'eau à épurer est de 100 mètres cubes par jour, soit 29 litres par tête d'habitant; mais ce volume peut s'élever à 600 mètres cubes par jour dans les temps de pluie. L'installation date de 1902. Elle est composée d'une chambre à sable, de deux fosses de décantation ouvertes, et de trois lits bactériens à un seul contact. La capacité des fosses de décantation est de 220 mètres cubes, soit $2^{mc},20$ à $0^{mc},37$ par mètre cube d'eau à épurer par jour, ou 65 litres par tête d'habitant. Les lits bactériens sont formés de coke de 5 à 40 millimètres. Ils portent à la partie supérieure une couche de pierres de 30 centimètres. Leur surface totale atteint 210 mètres carrés, leur hauteur $1^{m},60$, leur volume 336 mètres cubes. Ces chiffres correspondent à une surface de $2^{mq},10$ à $0^{mq},35$ et à un volume de $3^{mc},36$ à $0^{mc},56$ de lit par mètre cube d'eau à

traiter par jour, suivant le débit de l'effluent. On voit aussi qu'à un habitant correspondent 99 litres de lit bactérien. L'eau est évacuée au ruisseau après un seul contact.

Les frais de construction se sont élevés à 16000 marks, soit $4^{mk},70$ par tête, ou 160 marks par mètre cube à traiter par jour. Les dépenses d'exploitation se montent à 600 marks par an, soit $0^{mk},18$ par tête. En comptant 5 pour 100 pour l'intérêt et l'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense annuelle de 1400 marks, soit $0^{mk},41$ par tête d'habitant, ou 3,8 pfennig par mètre cube d'eau traitée.

19. Huls. — Ville de 6192 habitants, qui épure ses eaux par les procédés biologiques, sans fosse septique et par lits à percolation. L'installation est faite pour 500 mètres cubes par jour. L'eau passe d'abord dans deux bassins de clarification, puis elle est élevée au moyen de pompes pour être envoyée sur les lits à percolation.

Ceux-ci ont une surface totale de 120 mètres carrés; leurs dimensions sont de 6 mètres de large, 20 mètres de long et $2^{m},50$ de hauteur. La répartition de l'eau à la surface se fait par un tuyau percé de trous, porté par un chariot qui se déplace mécaniquement sur toute la surface du lit en 3 minutes 1/2 environ.

20. Idstein in Taunus. —Ville de 3064 habitants; le volume d'eau à épurer par jour atteint 450 mètres cubes. L'épuration se fait par voie biologique au moyen de lits à percolation, sans fosse septique.

L'eau arrive d'abord dans une chambre à sable de $2^{mq},8$, dans laquelle se déposent les matières lourdes. Cette chambre porte un trop plein par lequel l'eau s'écoule directement au ruisseau quand, en cas de pluie, le volume des eaux dépasse le double du débit normal.

Au sortir de la fosse à sable, les eaux coulent dans un bac à deux compartiments, où se déposent les substances en suspension assez volumineuses, puis dans des bacs à décantation, de $11^{mq},25$ de surface. L'eau y séjourne de deux à quatre heures et elle y abandonne les fins dépôts, qui sont pompés et utilisés comme engrais.

L'eau ainsi clarifiée est alors envoyée aux lits bactériens. Ceux-ci sont au nombre de 6, leur surface est de 150 mètres carrés; la surface totale des lits est donc de 900 mètres carrés, soit 1 mètre carré pour 500 litres d'eau par vingt-quatre heures. Les matériaux sont constitués par des scories de la grosseur du poing.

La distribution de l'eau à la surface des lits à percolation se fait à travers une fine couche filtrante (système Dunbar).

21. Jüterbog. — Cette installation, en fonctionnement depuis 1901, a été faite pour le champ de tir d'artillerie de Jüterbog, et elle peut épurer chaque jour 150 mètres cubes d'eau d'égout, provenant de 2000 personnes, soit 75 litres par tête d'habitant. Les eaux sont composées des matières fécales, des eaux ménagères et des eaux de pluie. Elle comprend d'abord deux fosses septiques couvertes, d'une capacité totale de 960 mètres cubes, soit $6^{mc},40$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 480 litres par tête d'habitant. L'eau sortant des fosses septiques est répartie sur quatre lits bactériens, deux de premier contact et deux de second contact. Ils sont formés de morceaux de coke de 2 à 5 millimètres. Leur surface totale atteint 540 mètres carrés, leur hauteur $1^{m},50$, leur volume 701 mètres cubes, ce qui correspond, par mètre cube d'eau à traiter par jour, à une surface de lit de $3^{mq},60$, et à un volume de $4^{mc},67$. Le volume total correspond à 350 litres de lit par tête d'habitant. L'eau épurée est utilisée pour l'irrigation agricole. Les frais de construction se sont élevés à 45 000 marks, soit $22^{mk},50$ par tête, ou 300 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les dépenses d'exploitation atteignent 2100 marks par an, soit $1^{mk},05$ par tête. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense totale annuelle de $4^{mk},35$, soit $2^{mk},17$ par tête d'habitant, ou 7,9 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

22. Königsfeld. — Königsfeld n'est qu'un village de 631 habitants, mais c'est une ville d'eaux où se trouvent en été 1500 étrangers. L'épuration des eaux se fait par les méthodes biologiques, sans fosse septique et avec lits à percolation.

L'installation est aménagée de telle sorte que l'eau soit simplement clarifiée par voie mécanique en temps ordinaire, et épurée par voie biologique pendant les quatre mois de la saison d'eaux. On peut épurer 100 mètres cubes par jour.

L'eau abandonne d'abord ses dépôts lourds dans une fosse à sable, puis elle est clarifiée dans deux fosses à décantation et coule aux lits percolateurs.

Les fosses à décantation ont $2^m,50$ de large sur 12 mètres de long. On y ajoute parfois des produits chimiques, soit pour précipiter certaines matières, soit pour désinfecter.

Les lits à percolation sont au nombre de 4. Ils ont chacun 25 mètres carrés de surface. On traite donc 1 mètre cube d'eau par mètre carré de surface et par jour. Le système adopté pour l'alimentation est celui de Dunbar : répartition à la surface du lit au moyen d'une fine couche filtrante. La hauteur des lits est de $1^m,50$ et ils sont formés de coke et de scories.

23. Königstein. — Petite ville de 2500 habitants, qui épure ses eaux résiduaires par voie biologique, sans fosse septique et avec lits à percolation.

L'installation est absolument identique à celle de la ville d'Idstein (V. S.).

La quantité d'eau épurée par vingt-quatre heures est de 330 mètres cubes, mais cette épuration est obtenue sur une surface de lits bactériens plus réduite qu'à Idstein, car l'alimentation y atteint 1 mètre cube par mètre carré de surface.

24. Landeck in Schlesien. — L'installation faite pour l'hôpital militaire de Landeck est la plus ancienne d'Allemagne : elle date d'août 1898. Elle épure en été 25 mètres cubes d'eau d'égout par jour, provenant de 160 habitants, soit 156 litres par tête. Ces eaux ne contiennent pas d'eaux de pluie, mais renferment les matières fécales. L'installation se compose d'abord de deux fosses septiques couvertes, de 100 mètres cubes de capacité totale, soit 4 mètres cubes par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 625 litres par tête d'habitant. L'eau sortant des fosses septiques est traitée sur des lits bactériens à double contact, formés de coke de 10 à 20 millimètres. Leur surface totale est de 50 mètres carrés,

leur hauteur de 1m,50, leur volume de 75 mètres cubes. On voit qu'à 1 mètre cube d'eau à épurer par jour correspondent 2 mètres carrés ou 3 mètres cubes de lit; ou encore, à un habitant, 469 litres de lit. L'eau ainsi épurée est envoyée au ruisseau. Les frais de construction ont atteint 7600 marks, soit 47mk,50 par tête d'habitant, ou 304 marks par mètre cube d'eau à traiter par jour. Les dépenses d'exploitation s'élèvent à 400 marks, soit 2mk,50 par tête. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement des dépenses engagées, les frais annuels s'élèvent donc à 780 marks, soit 4mk,88 par tête d'habitant, ou 8,6 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

25. Langensalza. — La ville de Langensalza a 12 000 habitants et fournit en moyenne 800 mètres cubes d'eau d'égout par jour, soit 67 litres par tête. Ces eaux contiennent les eaux de pluie, les matières fécales et un peu d'eaux industrielles. Leur volume peut s'élever à 4000 mètres cubes par jour en temps de pluie. L'installation date d'avril 1904. L'eau traverse d'abord une chambre à sable, puis elle passe dans des puits de décantation ouverts, au nombre de 36. La capacité de ces puits est de 320 mètres cubes, ce qui correspond à un volume de 0mc,40 à 0mc,08 par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou à 27 litres par tête d'habitant. L'eau ainsi décantée passe à travers 4 filtres à sable de 21m,5 × 10m,5, puis elle se rend à 4 lits bactériens à un seul contact, formés de scories de 3 à 10 millimètres. Leur surface totale est de 1600 mètres carrés; leur hauteur, 1 mètre, leur volume 1600 mètres cubes. On voit donc qu'à 1 mètre cube d'eau à traiter par jour correspondent 2 mètres carrés et 2 mètres cubes de lit bactérien, ou, à un habitant, 133 litres de lit.

L'eau peut être désinfectée au sortir des lits bactériens. L'installation a coûté 117 000 marks, soit 9m,80 par tête d'habitant, ou 215 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation atteignent 1900 marks par an, soit 0mk,16 par tête d'habitant. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense totale annuelle de 7800 marks, soit 0mk,65 par tête d'habitant, ou 2,7 pfennig par mètre cube d'eau traitée.

La quantité de boues humides recueillies par jour dans les

puits de décantation atteint 20 mètres cubes, soit 25 litres par mètre cube d'eau traitée, ou $1^l,67$ par tête d'habitant. L'étendue du terrain prévu pour le traitement de ces boues est de $0^{ha},1$; on compte qu'il faut 500 mètres carrés pour les boues d'une journée, soit $0^{mq},83$ par tête. La boue enlevée est encore très aqueuse : on en retire par la vente un profit de 800 marks par an, soit 6,7 pfennig par tête d'habitant.

26. Lötzen. — Lötzen a 6000 habitants et fournit par jour 200 à 250 mètres cubes d'eaux d'égout, soit environ 35 litres par tête. Ces eaux ne contiennent pas d'eaux de pluie et renferment peu d'eaux industrielles. Le fonctionnement date d'août 1904. L'eau passe d'abord à travers des grilles, un filtre à coke et une fosse à sable, puis elle est reprise par des pompes et envoyée à l'épuration. L'épuration est faite par fosse septique couverte et lits bactériens à double contact et à remplissage automatique. La fosse septique a une capacité de 110 mètres cubes, soit $0^{mc},55$ à $0^{mc},44$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, suivant le débit de l'effluent, ou 18 litres par tête d'habitant. Les lits bactériens de premier contact sont formés de coke en morceaux de 3 à 10 millimètres; la superficie de ces lits est de 120 mètres carrés, leur hauteur de $1^m,60$, leur volume de 192 mètres cubes. Les lits de second contact sont également formés de coke, mais plus fin, en morceaux de 2 à 7 millimètres. La superficie de ces lits est de 60 mètres carrés, leur hauteur de 1^m60, leur volume de 96 mètres cubes. La surface totale des lits est donc de 180 mètres carrés et leur volume 288 mètres cubes. Ces chiffres correspondent à $0^{mq},90$ et $0^{mq},72$ de surface de lit et $1^{mc},44$ et $1^{mc},15$ de volume de lit par mètre cube d'eau à épurer par jour, ou à 48 litres de lit par tête d'habitant. Les frais d'installation ont atteint 35000 marks, soit $5^{mk},80$ par tête d'habitant, ou 175 marks par mètre cube d'eau traitée par jour.

27. Lübben. — Cette installation a été faite pour un asile de 1 000 aliénés. La quantité d'eau à épurer par jour atteint 300 mètres cubes, soit 300 litres par tête d'habitant. Le fonctionnement date de mars 1905. L'eau se rend d'abord dans un

bassin, d'où une pompe l'envoie aux fosses septiques. Ces fosses, couvertes par des planches, sont au nombre de deux; leur capacité totale est de 300 mètres cubes, ce qui correspond à 1 mètre cube par mètre cube d'eau à traiter par jour, et à 330 litres par tête d'habitant. L'eau passe ensuite sur des lits percolateurs au nombre de trois, formés de scories grossières ou de coke. Leur surface totale est de 180 mètres carrés, leur hauteur de 3 mètres, leur volume de 540 mètres cubes. Ces chiffres correspondent à une surface de $0^{mq},60$ et à un volume de $1^{mc},80$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou à 540 litres de lit par tête d'habitant. L'installation a coûté 45 000 marks, soit 45 marks par tête d'habitant, ou 150 marks par mètre cube d'eau épurée par jour.

28. Ludenscheid. — Ludenscheid est une ville de 27 000 habitants, qui a adopté l'épuration biologique avec fosse septique et lits à percolation.

L'eau passe d'abord dans une fosse à sable, puis dans deux petits étangs où se fait un premier dépôt des matières volumineuses. L'eau traverse alors deux étangs plus grands qui servent de fosses septiques, puis elle est envoyée sur un lit à percolation de 2 mètres de hauteur. La répartition de l'eau sur toute la surface se fait au moyen de rigoles en bois.

29. Merseburg. — Merseburg a 20 000 habitants et fournit environ 1200 mètres cubes d'eau d'égout à épurer par jour, soit 60 litres par tête d'habitant. L'installation date de mai 1902. Les eaux se composent d'eaux de pluie, d'eaux ménagères, de matières fécales et de 20 pour 100 d'eaux industrielles. Elles traversent d'abord une chambre à sable, puis quatre puits septiques fermés suivis d'une fosse septique ouverte. Le volume total de ces puits et de cette fosse atteint 600 mètres cubes, soit $0^{mc},50$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 50 litres par tête d'habitant. L'eau se rend alors sur quatre lits bactériens à un seul contact, formés de scories de 3 à 15 millimètres. La surface totale de ces lits est de 2000 mètres carrés, leur hauteur $0^{m},80$, leur volume 1600 mètres cubes. Ces chiffres correspondent à une surface de $1^{mq},67$ et à un volume de $1^{mc},33$, par mètre cube d'eau à épurer par jour; ou encore à 80 litres

de lit par tête d'habitant. L'eau peut être désinfectée à la sortie des lits bactériens, puis elle s'écoule dans la Saale.

Les frais de construction se sont élevés à 75000 marks, soit 5^{mk},70 par tête d'habitant, ou 62 marks par mètre cube d'eau à traiter par jour. Les frais annuels d'exploitation atteignent 3100 marks, soit 0^{mk},15 par tête : dans ce chiffre, les frais de la station de pompes entrent pour 500 marks. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense annuelle de 6900 marks, soit 0^{mk},35 par tête d'habitant, ou 1,6 pfennig par mètre cube d'eau épurée. La quantité de boues humides retirée journellement des puits septiques est de 2 mètres cubes, soit 1^{l},8 par mètre cube d'eau, ou 0^{l},10 par tête d'habitant. Elles sont aussitôt vendues et rapportent 300 marks par an, soit 1,5 pfennig par tête et par an.

30. Mullheim a. d. Ruhr. — La ville de Mullheim a 40 000 habitants, et fournit en moyenne 5000 mètres cubes d'eau à épurer par jour, soit 125 litres par tête. Mais ces eaux contiennent, indépendamment des matières fécales, les eaux de pluie et 30 pour 100 de leur volume d'eaux industrielles ; aussi la quantité à épurer atteint-elle parfois 18 000 mètres cubes par jour. L'installation fonctionne depuis décembre 1903. L'eau traverse d'abord deux fosses septiques ouvertes, d'une capacité totale de 1200 mètres cubes, soit 0^{mc},24 à 0^{mc},07 par mètre cube d'eau à traiter par jour, suivant le débit de l'effluent, ou 30 litres par tête d'habitant. L'eau est alors reprise par des pompes et envoyée sur des lits percolateurs sur lesquels elle se répartit au moyen d'une couche filtrante. Les lits sont formés de scories de 50 à 200 millimètres. Leur surface totale est de 5400 mètres carrés, leur hauteur 1^{m},10, leur volume 5940 mètres cubes. Ces dimensions correspondent, par mètre cube d'eau à épurer par jour, à une surface de lit de 1^{mq},08 à 0^{mq},30, et à un volume de lit de 1^{mc},19 à 0^{mc},33, suivant le débit de l'effluent ; ou encore, par tête d'habitant, à un volume de lit de 148 litres. Les frais de construction se sont élevés à 135 000 marks, soit 3^{mk},40 par tête d'habitant, ou 27 marks par mètre cube d'eau à traiter par jour. Les dépenses annuelles d'exploitation se montent à 9300 marks (dont 3000 marks pour

la station de pompes) soit 0^{mk},25 par tête d'habitant. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense totale annuelle de 16000 marks, soit 0^{mk},40 par tête d'habitant, ou 0,9 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

51. Naumburg a. d. Saale. — Naumburg a 24000 habitants, dont 6000 seulement sont rattachés à la station d'épuration. Les eaux journalières, qui comprennent aussi les eaux de pluie atteignent un volume variable de 560 à 1800 mètres cubes. L'installation date de 1905. Elle se compose d'une, grande fosse septique couverte, de 60 mètres de long, et divisée en trois longs compartiments de 2 × 60 mètres par deux cloisons longitudinales L'eau parcourt ainsi un chemin de 180 mètres dans la fosse septique. Le volume de la fosse est de 1080 mètres cubes, soit 5 mètres cubes à 0^{mc},60 par mètre cube d'eau à traiter par jour, suivant le débit de l'effluent, ou 180 litres par tête d'habitant. L'eau, en sortant de la fosse septique, se rend à des lits percolateurs à Sprinklers, formés de coke de 20 à 60 millimètres. La surface de ces lits est de de 75 mètres carrés ; la hauteur, de 6 mètres ; le volume, de 450 mètres cubes. On voit qu'à 1 mètre cube d'eau à traiter par jour correspondent une surface de 0^{mq},21 à 0^{mq},04 et un volume de 1^{mc},25 à 0^{mc},25, suivant le débit de l'effluent. Le volume total des lits correspond à 75 litres de lit par tête d'habitant. L'eau, à la sortie des lits percolateurs, peut être désinfectée au chlorure de chaux. Les frais de construction se sont élevés à 50000 marks, soit 8^{mk},50 par tête d'habitant, ou 159 marks par mètre cube d'eau traitée par jour.

52. Neubabelsberg b. Berlin. — L'installation a été faite pour un hospice d'invalides comprenant 50 personnes. La quantité d'eau à épurer par 24 heures atteint 1^{mc},5, soit 30 litres par tête d'habitant. Le fonctionnement date de 1905. L'eau traverse d'abord quatre petites fosses septiques couvertes d'un volume total de 22 mètres cubes, soit 14^{mc},70 par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 440 litres par tête d'habitant. L'eau, reprise par une pompe, est envoyée dans un réservoir qui alimente un lit percolateur à Sprinkler. Ce lit est formé de coke

de 15 à 80 millimètres de grosseur. Sa surface est de 5^{mq},1 ; sa hauteur, de 1^{m},85 ; son volume, de 5^{mc},7. Ces chiffres correspondent à une surface de lit de 2^{mq},07 et à un volume de lit de 5^{mc},80 par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou à 114 litres de lit par tête d'habitant. L'eau passe ensuite dans un lit bactérien de contact de 2 mètres × 1^{m},50, et dans un filtre à sable.

53. Posen. — Cette installation a été faite pour le champ de manœuvres de Posen; elle doit épurer, en été seulement, 500 mètres cubes d'eau provenant de 5000 personnes, soit 100 litres par personne. Ces eaux renferment les eaux de pluie, mais très peu de matières fécales. L'installation date de 1901. Elle se compose d'une chambre à sable et de fosses septiques couvertes, dans lesquelles on ajoute des produits chimiques pour précipiter la majeure partie des matières en suspension. Le volume de ces fosses est de 290 mètres cubes, soit 0^{mc},58 par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 58 litres par tête d'habitant. L'eau clarifiée passe dans de petits lits percolateurs, sur lesquelles elle est répartie par des rigoles en bois. Ces lits, formés de coke et de scories de 3 à 40 millimètres de grosseur, ont une surface totale de 156^{mq}, 0^{m},60 de hauteur et un volume de 94 mètres cubes. A 1 mètre cube d'eau traitée par jour correspondent donc une surface de 0^{mq},31 et un volume de 0^{mc},19; à un habitant correspondent 19 litres de lit. Cette installation est plutôt destinée à faire l'épuration chimique et mécanique plutôt que l'épuration biologique, comme on le voit par les dimensions des lits bactériens. Elle a coûté 45 000 marks, soit 9^{mk},00 par tête d'habitant, ou 90 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation s'élèvent annuellement à 1600 marks, soit 0^{mk},32 par tête d'habitant. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense annuelle de 3850 marks, soit 0^{mk},77 par tête, ou 2,1 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

54. Reinickendorf bei Berlin. — Cette installation a été faite pour une caserne d'aéronautes militaires de 400 hommes, fournissant par jour 100 mètres cubes d'eau d'égout, soit 250 litres par personne. L'installation, qui date d'octobre 1901,

se compose d'abord d'une fosse septique couverte de 200 mètres cubes, soit 2 mètres cubes par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 500 litres par tête d'habitant. L'eau, en sortant de la fosse, se rend dans deux lits à percolation à deux étages, formés de coke de 5 à 8 millimètres ; et elle y est répartie au moyen de tuyaux de poterie. La surface totale de ces lits est de 120 mètres carrés ; leur hauteur, de $1^{m},50$; leur volume, de 156 mètres cubes. A un mètre cube d'eau traitée par jour correspondent une surface de $1^{mq},20$ et un volume de $1^{mc},56$; à un habitant correspondent 390 litres de lit.

Les frais de construction se sont élevés à 25000 marks, soit $62^{mk},50$ par tête, ou 250 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation atteignent 2800 marks par an (dont 2000 marks pour la station de pompes), soit 7 marks par tête d'habitant. En comptant en outre l'intérêt à 5 pour 100 du capital engagé, on arrive à une dépense annuelle de 4050 marks, soit $10^{mk},10$ par tête, ou 11,1 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

55. Remscheid. — Ville de 60 000 habitants. On a d'abord cherché à épurer les eaux par épandage, mais cette méthode a été reconnue impraticable à cause du manque de terrains convenables, et la ville a eu recours à l'épuration biologique.

L'eau arrive d'abord dans une chambre à boues, puis dans des fosses à décantation qui séparent les dépôts. Les boues qui s'y accumulent sont pompées, desséchées dans des bacs plats et utilisées par la culture. L'eau abandonne ainsi 50 à 60 pour 100 de ses matières en suspension, puis elle est conduite à des lits de filtration formés de sable sur une hauteur de 1 mètre. L'eau se rend alors aux lits de contact, qui ont $1^{m},20$ de hauteur et sont constitués par du coke. Il y a en tout 12 lits de 400 mètres cubes de volume chacun. On a disposé à la sortie un bassin de désinfection où on peut traiter l'eau par le chlorure de chaux en cas d'épidémie.

56. Schmiedeberg i. Riesengebirge. — Il s'agit ici d'une installation pour une maison de convalescents de 100 personnes, fournissant journellement 15 mètres cubes d'eau à épurer, soit 150 litres par personne. Le fonctionnement date

de 1900. L'installation comprend une fosse septique couverte de 100 mètres cubes, soit $6^{mc},67$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 1000 litres par tête d'habitant. L'eau passe ensuite dans deux lits bactériens à double contact, formés de coke de 2 à 7 millimètres. La surface totale de ces lits est de 50 mètres carrés ; leur hauteur, $1^{m},50$; leur volume, de 75 mètres cubes. A 1 mètre cube d'eau à épurer par jour correspondent une surface de $5^{mq},34$ et un volume de 5 mètres cubes de lit ; à 1 habitant correspond 1 volume de 750 litres de lit. Les frais de construction ont atteint 7300 marks, soit 73 marks par tête d'habitant ou 487 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation sont faibles. On peut évaluer la dépense totale annuelle à 500 marks, en y comprenant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital, ce qui correspond à 5 marks par tête d'habitant et à 9,1 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

57. Schreiberhau i. Riesengebirge. — Cette installation a été faite pour une maison de convalescence de 60 personnes. La quantité d'eau à épurer atteint 5 mètres cubes par jour, soit 83 litres par personne. Le fonctionnement date de 1901. L'installation se compose d'une fosse septique couverte, de 20 mètres cubes de capacité, soit 4 mètres cubes par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 333 litres par tête d'habitant. L'eau qui sort de la fosse septique passe dans deux lits à percolation, formés de coke de 3 à 10 millimètres, et elle est répartie sur ces lits au moyen de tuyaux en poterie. La surface totale des lits est de 10 mètres carré ; la hauteur, $1^{m},30$; le volume, 13 mètres cubes. A 1 mètre cube d'eau traitée par jour correspondent par suite 2 mètres carrés de surface de lit, et $2^{mc}60$ de volume de lit ; à un habitant correspondent 217 litres de lit bactérien. Les frais de construction se sont élevés à 2400 marks, soit 40 marks par tête d'habitant, ou 480 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation sont faibles et on peut les évaluer, en y comprenant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, à 200 marks par an, soit $3^{mk},33$ par tête d'habitant et 11 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

38. Siegburg. — Siegburg est une ville de 14 531 habitants qui a adopté l'épuration biologique sans fosse septique par les lits de contact. L'installation, en construction, comprend des fosses à sable, des fosses de décantation, un filtre de gravier puis des lits bactériens à double contact.

La dépense prévue est de 500 000 marks, soit environ 34 marks par habitant.

39. Slawentsitz bei Oppeln. — L'installation a été faite pour un hôpital de 110 malades, fournissant par jour 30 mètres cubes d'eau à épurer, soit 273 litres par personne. Le fonctionnement date de septembre 1901. L'installation comprend d'abord deux fosses septiques couvertes, d'une capacité totale de 140 mètres cubes, soit $5^{mc},67$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 1272 litres par tête d'habitant. L'eau, à la sortie des fosses, passe sur les lits bactériens qui sont à double contact, et formés de coke de 3 à 10 millimètres de grosseur. Leur surface totale est de 64 mètres carrés ; leur hauteur, de $1^{m},30$; leur volume de 83 mètres cubes. On voit qu'à 1 mètre cube d'eau traitée par jour correspondent une surface de lit de $2^{mq},14$ et 1 volume de lit de $2^{mc},77$; à un habitant correspondent 755 litres de lit. Les frais de construction ont atteint 3 500 marks, soit $31^{mk},80$ par tête d'habitant, ou 117 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les dépenses d'exploitation se montent à 450 marks par an, soit $4^{mk},09$ par tête. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense totale annuelle de 625 marks, soit $5^{mk},68$ par tête d'habitant, et 5,7 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

40. Stargard in Pommern. — La ville de Stargard a 27 000 habitants et donne en moyenne 1 600 mètres cubes d'eau d'égout par jour, soit 59 litres par personne. Comme ces eaux renferment les eaux de pluie, le débit journalier de l'effluent s'élève parfois à 3 200 mètres cubes. Le fonctionnement date d'octobre 1899. L'installation comprend d'abord quatre puits de décantation ouverts, d'une capacité totale de 600 mètres cubes, soit $0^{mc},37$ — $0^{mc},19$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, ou 22 litres par tête d'habitant. On peut effectuer la désin-

fection de l'eau dans ces puits. L'eau coule alors à six lits bactériens à un seul contact, formés en partie de coke en fragments de 20 à 60 millimètres de grosseur, en partie de morceaux de briques, et recouverts d'une couche de $0^{m},5$ de pierres. La surface totale de tous ces lits atteint 2 200 mètres carrés; leur hauteur, $1^{m},50$, leur volume 3 300 mètres cubes. Ces chiffres correspondent à une surface de lit de $1^{mq},38$ à $0^{mq},69$ et à un volume de lit de $2^{mc},09$ à $1^{mc},05$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, suivant le débit de l'effluent. Par tête d'habitant, le volume de lit est de 122 litres. L'installation a coûté 126 000 marks, soit $4^{mk},70$ par tête ou 79 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation atteignent 8 000 marks par an, soit $0^{mk},20$ par tête. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense annuelle de 14 300 marks, soit $0^{mk},53$ par tête et par an, et 2,5 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

La quantité de boue extraite journellement des puits atteint, à l'état humide, 12 mètres cubes, soit $7^{l},5$ par mètre cube d'eau, ou $0^{l},45$ par tête. L'espace prévu pour le traitement de ces boues est de $2^{ha},5$; et on compte pour la boue journalière, une surface de 2 080 mètres carrés, soit $0^{mq},95$ par tête. Ces boues humides donnent par jour $2^{mc},7$ de boues sèches. Ces boues sèches sont vendues $0^{mk},50$ le mètre cube, et leur vente rapporte ainsi 500 marks par an, soit 1,8 pfennig par tête.

41. Stuttgart. — La ville de Stuttgart a fait récemment l'étude de l'application des procédés biologiques à l'épuration de ses eaux.

L'installation expérimentale comprend : 1 chambre à sable, des fosses de dépôt, 1 bassin collecteur et 4 lits bactériens, 2 de premier contact et 2 de second contact. Les dépenses totales se sont élevées à 21 000 marks. On a travaillé à raison de deux heures de plein dans les lits et deux heures d'aération.

On a constaté une perte considérable de la capacité des lits, qui est tombée, au bout de neuf mois, de 425 litres à 190 litres par mètre cube, probablement par suite d'un mode

de travail défectueux. Au bout d'un an, on a retiré 87 mètres cubes de boues sur 36 500 mètres cubes d'eau traitée. On a conclu cependant à la possibilité d'épurer les eaux de Stuttgart par cette méthode, mais avec des dépenses assez élevées.

42. Teltow b. Berlin. — Cette installation a été faite pour une maison de correction pour jeunes filles, de 170 personnes. Le volume d'eau à épurer par jour varie de 60 à 90 mètres cubes. L'installation, qui date de 1901, comprend deux fosses septiques couvertes, de 210 mètres cubes de capacité, soit $3^{mc},50$ par mètre cube d'eau à épurer par jour, ou 1236 litres par tête, et deux lits bactériens à un seul contact, formés de coke en fragments de 3 à 10 millimètres de grosseur. La surface totale de ces lits est de 59 mètres carrés; leur hauteur, de $1^{m},30$; leur volume de 51 mètres cubes; ce qui correspond à $0^{mq},65$ et $0^{mc},85$ de lit par mètre cube d'eau à traiter par jour; ou à 300 litres de lit par tête. L'eau épurée est utilisée pour l'épandage agricole. Les frais de construction ont atteint 6 500 marks, soit $38^{mk},20$ par tête, ou 108 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les frais d'exploitation, en y comprenant 5 pour 100 d'intérêt et amortissement du capital, se montent à 825 marks par an, soit $4^{mk},85$ par tête, ou 3,8 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

43. Unna (Westfalen). — Unna a 10 000 habitants, et fournit chaque jour en moyenne 1 000 mètres cubes d'eau, soit 100 litres par tête. Ces eaux renferment 40 pour 100 d'eaux industrielles, et pas d'eaux de pluie; leur volume journalier peut s'élever jusqu'à 1 400 mètres cubes. L'installation, qui date de septembre 1903, comprend des fosses septiques couvertes et des lits bactériens à percolation. Le volume des fosses septiques est de 900 mètres cubes, soit $0^{mc},90$ à $0^{mc},64$ par mètre cube d'eau à traiter par jour, suivant le débit de l'effluent; ou 90 litres par tête d'habitant. Les lits à percolation sont constitués par des scories de 40 à 50 millimètres de grosseur, et la répartition de l'eau à la surface se fait au moyen d'une fine couche filtrante. La surface totale des lits est de 1500 mètres carrés, leur hauteur, $1^{m},90$; leur volume 2850 mètres cubes.

On voit qu'à un mètre cube d'eau traitée par jour correspondent $1^{mq},50$ à $1^{mq},07$ de surface de lit et $2^{mc},85$ à $2^{mc},03$ de volume de lit, suivant le débit de l'effluent. A une personne correspondent 285 litres de lit. L'installation a coûté 62 000 marks, soit $6^{mk},20$ par tête, ou 62 marks par mètre cube d'eau épurée par jour. Les frais d'exploitation s'élèvent à 2 400 marks par an, soit $0^{mk},24$ par tête. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense totale annuelle de 5 500 marks, soit $0^{mk},55$ par tête, et 1,5 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

On retire de la fosse septique une quantité de boues humides correspondant à 2 mètres cubes par jour, soit 2 litres par mètre cube d'eau traitée, ou $0^{l},20$ par tête d'habitant. L'espace prévu pour le traitement de ces boues est de $0^{ha},05$. La boue sèche est vendue $0^{mk},80$ le mètre cube.

44. Wahn b. Köln. — Cette installation a été faite pour un champ de tir où se trouvent 3 000 personnes, et peut traiter 330 mètres cubes d'eau par jour. Elle date de 1903. Elle se compose d'abord de deux fosses septiques couvertes, d'une capacité totale de 560 mètres cubes soit $1^{mc},60$ par mètre cube d'eau à traiter par jour et 187 litres par personne. L'eau est traitée ensuite par lits bactériens à double contact : les lits de premier contact sont formés de coke en fragments de 5 à 10 millimètres de grosseur ; ceux de deuxième contact sont formés de coke, mais en fragments plus fins, de 2 à 5 millimètres de grosseur. La surface totale des lits atteint 480 mètres carrés ; leur hauteur, $1^{m},25$; leur volume 600 mètres cubes. A un mètre cube d'eau traitée par jour correspondent une surface de lit de $1^{mq},37$, et un volume de lit de $1^{mc},72$; à un habitant correspondent 200 litres de lit. L'installation a coûté 50 000 marks, soit $16^{mk},70$ par tête, ou 143 marks par mètre cube d'eau traitée. Les frais d'exploitation s'élèvent à 2 500 marks par an (dont 1000 marks par la station de pompes), soit $0^{mk},83$ par tête. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense annuelle de 5 000 marks, soit $1^{mk},67$ par tête, et 3,9 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

45. WILDAU B. BERLIN. — Cette installation a été faite par une fabrique de machines, et traite les eaux résiduaires d'une colonie ouvrière de 750 personnes. La quantité moyenne d'eau à épurer par jour est de 300 mètres cubes, mais elle s'élève parfois à 600 mètres cubes. Le fonctionnement date de 1901. L'installation comprend deux fosses septiques couvertes, d'un volume total de 1 600 mètres cubes, soit $5^{mc},34$ par mètre cube d'eau à traiter, ou 2 150 litres par tête d'habitant. L'eau, après avoir traversé les fosses, se rend à des lits bactériens à double contact. Les lits de premier contact sont formés de morceaux de coke de 4 à 20 millimètres de grosseur, ceux de second contact sont aussi formés de coke, mais de 1 à 4 millimètres de grosseur. La surface totale des lits est de 800 mètres carrés; leur hauteur, $1^{m},50$; leur volume, 1 200 mètres cubes. A 1 mètre cube d'eau à traiter par jour correspondent une surface de lit de $2^{mq},67$, et un volume de lit de 4 mètres cubes. A un habitant correspond un volume de lit de 1 600 litres. L'installation a coûté 85 000 marks, soit $113^{mk},30$ par tête d'habitant ou 284 marks par mètre cube d'eau traitée par jour. Les dépenses annuelles d'exploitation atteignent 4 000 marks (dont 2 500 marks pour la station de pompes), soit $5^{mk},34$ par tête d'habitant. En comptant un intérêt et amortissement de 5 pour 100 du capital engagé, on arrive à une dépense totale annuelle de 8 250 marks, soit 11 marks par tête d'habitant, ou 7,5 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

46. WILHELMSBURG A. D. ELBE. — Cette installation a été construite par une société d'employés de chemin de fer, et peut épurer 75 mètres cubes par jour, provenant de 3 000 personnes, soit 25 litres par tête. Elle date de janvier 1903, et comprend une fosse septique et des lits à percolation à trois étages. La fosse septique a un volume de 115 mètres cubes, soit $1^{mc},53$ par mètre cube d'eau à traiter, ou 38 litres par tête d'habitant. L'eau est envoyée ensuite sur un premier lit à percolation, passe de ce premier lit sur un second lit, puis sur un troisième. La distribution se fait au moyen de sprinklers Candy. Le premier lit est formé de scories de 100 à 200 millimètres de grosseur, sa surface est de 62 mètres carrés; sa hauteur de $2^{m},60$, son volume de 160 mètres cubes. Le deuxième

lit est formé de scories de 30 à 50 millimètres et possède une couche de carboferrite. Sa surface est de 100 mètres carrés ; sa hauteur, 1 mètre ; son volume, 100 mètres cubes. Le troisième lit est formé de scories de 20 à 40 millimètres : ses dimensions sont les mêmes que celles du second lit. Ces chiffres correspondent à une surface de lit de 3^{mq},49 et un volume de lit de 4^{mc},80 par mètre cube d'eau à traiter par jour; ou a 120 litres de lit par tête d'habitant.

Les frais de construction se sont élevés à 85 000 marks, soit 28^{mk},40 par tête, ou 1 130 marks par mètre cube d'eau à traiter par jour. Les frais d'exploitation se montent à 2 000 marks par an (dont 1 400 marks pour la station de pompes), soit 0^{mk},67 par tête d'habitant. En comptant 5 pour 100 d'intérêt et d'amortissement du capital engagé, on arrive à une dépense totale annuelle de 6 300 marks, soit 2^{mk},10 par tête d'habitant, et 23 pfennig par mètre cube d'eau épurée.

47. Wilmersdorf. — Wilmersdorf est un faubourg de la banlieue de Berlin, qui compte environ 200 000 habitants. Il n'a pas été possible de recourir à l'épandage pour l'épuration des eaux : les terrains font absolument défaut, et la ville a dû faire construire une canalisation de 18 kilomètres, qui a coûté 4 000 000 de marks, pour amener ses eaux à un endroit assez vaste pour y faire l'application des procédés biologiques. L'espace, à cette grande distance, était encore à peine suffisant pour épurer par épandage les eaux de 20 000 habitants, ce qui rendait cette méthode impraticable.

L'installation est faite pour 600 000 habitants, car on a prévu le cas où les faubourgs voisins viendraient se joindre à Wilmersdorf. Elle est capable de traiter 60 000 mètres cubes par vingt-quatre heures et sa superficie totale en y comprenant les chemins, les terrains pour l'égouttage des boues, etc., atteint 65 hectares, soit 1 hectare environ pour 9 000 habitants, tandis que la ville de Berlin utilise avec l'épandage, 1 hectare environ pour 250 habitants. Le rapport des surfaces employées est donc environ de 1/35.

L'installation a été précédée d'essais qui ont été effectués par la station royale d'études pour l'approvisionnement des villes en eau et pour l'épuration des eaux résiduaires à

Berlin. La construction a été à peu près terminée en août 1906 et la mise en marche a eu lieu au commencement de septembre.

Le mode de travail adopté est le suivant : l'eau, envoyée par des pompes, passe d'abord dans des bassins de décantation où elle abandonne ses dépôts, puis elle va alimenter des lits percolateurs à Sprinklers; elle s'écoule alors vers d'autres bassins de dépôt où elle achève de se débarrasser des matières entraînées, puis elle est filtrée sur sable et évacuée.

Les bassins de dépôt sont au nombre de 6, communiquant entre eux par des grilles, et disposés de telle sorte que l'eau doit les parcourir tous les six avant d'être envoyée aux lits percolateurs. Ces bassins sont carrés, leur profondeur est de 5 mètres, et leur volume total est égal à la moitié du volume d'eau journalier, soit par conséquent un demi mètre cube par mètre cube d'eau à traiter chaque jour. Ils ont été disposés au-dessus des Sprinklers et les alimentent ainsi directement par pente naturelle. On a prévu des dragues pour enlever les dépôts qui s'accumulent dans ces bassins. Ces boues sont étendues et abandonnées à la dessiccation sur des terrains avoisinants.

L'eau sortant des bassins de dépôt coule dans un bac-jauge qui alimente tous les Sprinklers à la fois quand le volume voulu est atteint. Cette opération se fait d'une manière très simple, au moyen d'une vanne de fond, équilibrée par un vaste seau placé au dehors. Tant que le seau est vide, la vanne reste fermée; mais quand le niveau atteint le point voulu dans le bac-jauge, le trop plein se déverse dans le seau; l'augmentation de poids du seau entraîne sa descente et par suite l'ouverture de la vanne. Quand le volume d'eau voulu est évacué, un flotteur ouvre le clapet du fond du seau qui se vide, remonte et referme ainsi la vanne du fond. Cette alimentation automatique se fait d'une façon tout à fait régulière.

Les lits bactériens, alimentés par des Sprinklers rotatifs, sont actuellement au nombre de 55. Leur forme est tronconique, leur diamètre moyen est de 20 mètres et leur hauteur de 2m,50. Pour les 20000 mètres cubes que fournit actuellement Wilmersdorf, la surface totale des lits est d'environ

16 000 mètres carrés et leur volume total de 40 000 mètres cubes. On voit donc qu'on a prévu 2 mètres cubes de volume de lit par mètre cube d'eau à traiter par vingt-quatre heures, ce qui correspond à 1^{mc},25 d'eau à traiter par mètre carré de surface et par jour.

Les matériaux employés sont constitués par du coke en gros morceaux, dont les dimensions varient de la grosseur du poing à celle de la tête. Quelques lits sont cependant aménagés avec du granit ou avec des briques. A mi hauteur des lits, on a placé suivant des rayons du cercle de section horizontale, des tuyaux d'aération en poterie, de 20 centimètres de diamètre environ, percés de trous. La sole du lit est constituée par des nervures en ciment, hautes environ de 10 centimètres, larges de 15 centimètres et distantes de 10 centimètres les unes des autres. On obtient ainsi un drainage excellent et une aération parfaite. Autour du lit se trouve une rigole pour l'évacuation des eaux.

Pour protéger les Sprinklers contre l'action perturbatrice du vent, on les a placés autant que possible dans les points bas, abrités du côté du nord par une haute dune plantée de sapins. Le fonctionnement est ainsi très régulier.

L'eau qui a traversé les lits bactériens coule alors aux seconds bassins de dépôt, qui sont destinés à retenir les substances entraînées lors du passage de l'eau dans les lits. Ces bassins sont au nombre de 6 et identiques aux grands bassins de décantation, mais ils sont de dimensions beaucoup plus réduites, car l'eau y séjourne moins longtemps. Leur volume total correspond environ au quart du volume d'eau traité par vingt-quatre heures, soit environ un quart de mètre cube par mètre cube d'eau.

Après avoir parcouru ces 6 bassins, l'eau est évacuée sur un filtre à sable et s'écoule limpide vers la rivière.

Cette installation, qui se trouve à Stahnsdorf, près Berlin, a coûté environ 2 000 000 de marks pour les 200 000 habitants de Wilmersdorf, soit environ 10 marks par tête d'habitant.

48. Amsterdam (Hollande). — La ville d'Amsterdam a établi un projet d'épuration biologique de ses eaux d'égout. L'installation est faite pour 150 000 habitants, à raison de 300 litres

par habitant et par jour, soit 45 000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Les eaux sont d'abord envoyées par des pompes dans 3 fosses septiques de 100 mètres de long et 30 mètres de large; leur profondeur est de 3^{m},50 à l'entrée et de 2^{m},50 à la sortie, de sorte que le volume total des 3 fosses est de 49 500 mètres cubes. On a prévu une vanne d'évacuation des boues.

L'eau séjourne vingt-quatre heures dans les fosses septiques, puis elle est distribuée sur 18 lits à percolation, carrés, de 50 mètres de côté et de 1^{m},50 de hauteur, soit 1 mètre carré de surface par mètre cube d'eau. La répartition de l'eau à la surface des lits se fait au moyen d'une fine couche filtrante (système Dunbar). Ces couches ont 50 mètres de longueur, 2 mètres de largeur et 30 à 40 centimètres d'épaisseur, et elles sont disposées à intervalles de 1 mètre. On doit travailler en été par percolation, et en hiver par contact, et les lits sont à cet effet entourés de murs.

49. *Station expérimentale de* Tilburg *pour l'étude de l'épuration des eaux résiduaires* (Hollande). — La ville de Tilburg vient d'établir une station d'essais pour l'épuration de ses eaux résiduaires. Tilburg, ville de 40 000 habitants environ, très industrielle (surtout *filatures et tanneries*), ne possède jusqu'ici aucun dispositif d'épuration de ses eaux résiduaires : les eaux, y compris les matières fécales, se réunissent sans aucun traitement dans deux grandes fosses, et sont ensuite évacuées. Pour remédier à cet état de choses déplorable, on a entrepris l'étude de l'épuration de ces eaux, dans une station d'essais destinée à donner les principes du mode d'épuration applicable. Cette station, soumise au contrôle du « Central Gezondheitsraad » (Conseil central d'Hygiène), comprend :

1° 1 bâtiment pour les machines avec 1 pompe centrifuge (débit 300 litres à la minute), et 1 pompe aspirante et foulante (débit 100 litres à la minute);

2° 1 fosse septique ouverte et 1 fosse septique fermée de 200 mètres cubes de capacité;

3° 8 lits bactériens de premier contact, et 8 lits de second contact, construits avec des matériaux différents. La grosseur des grains pour les lits de premier contact varie de 10 à 30 milli-

mètres, celle des grains des lits de second contact varie de 5 à 10 millimètres. La quantité totale de matériaux est d'environ 160 mètres cubes;

4° 2 lits à percolation circulaires d'environ $2 \times 15 = 30$ mètres cubes de matériaux. La répartition de l'eau à leur surface doit se faire par des Sprinklers rotatifs;

5° 1 laboratoire, installé pour toutes les recherches chimiques, bactériologiques et microscopiques.

CHAPITRE VIII

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ARTIFICIELLE AUX ÉTATS-UNIS

Il n'est que juste de reconnaître que si l'épuration biologique par lits de contact ou par lits percolateurs a pris, surtout en Angleterre, un développement considérable à la suite des travaux de Dibdin et de Cameron, c'est aux États-Unis, dans les résultats des expériences poursuivies depuis de longues années sur la filtration intermittente, à la station de *Lawrence* (*Massachussets*), que ces savants ont puisé leurs suggestions.

Si le nombre des villes américaines qui ont adopté l'épuration biologique artificielle n'est pas encore très élevé, cela tient surtout à ce que la plupart d'entre elles avaient déjà pris une avance considérable et s'étaient pourvues d'installations très satisfaisantes en appliquant les principes établis par *Hiram Mills* et ses collaborateurs.

Seules les villes de l'ouest, dont la population s'est accrue très vite au cours de ces dernières années et qui sont presque toutes construites dans des régions qui ne se prêtent ni à l'irrigation agricole ni à la filtration intermittente, ont été amenées à essayer et à adopter l'épuration biologique.

Nous nous bornerons à relater ici les essais très scientifiquement conduits qui ont été réalisés à *Columbus* (*Ohio*) et qui ont fait l'objet d'un excellent rapport de la part de M. *George A. Johnson*, publié en novembre 1905.

Columbus. — La ville de *Columbus* est située dans l'État d'*Ohio*, à environ 100 milles du lac *Érié*, au confluent du *Scioto* et de l'*Olentangy river*. Sa population est de 150 000 habitants.

Différents projets d'irrigation ou de filtration intermittente

sur sable y furent successivement essayés, puis abandonnés à cause des difficultés locales d'exécution.

En 1901, M. *Rudolph Hering*, ingénieur-conseil, de *New-York*, proposa de construire des fosses septiques et des filtres à sable intermittents, établis avec le sable des rives du lac *Érié*.

Les fosses septiques devaient contenir le flot de 12 heures et les filtres à sable devaient être construits pour travailler sur la base d'environ 2500 mètres cubes par hectare ou 250 litres par mètre carré.

D'après ce projet, en période de hautes eaux, lorsque le sewage serait dilué au huitième, on l'évacuerait directement dans les rivières.

La question fut soumise à un referendum populaire à l'occasion des élections de novembre 1903, avec une proposition d'emprunt de 1 200 000 dollars (6 000 000 de francs). Le vote fut favorable. Dès lors, on institua une station d'essai en vue d'expérimenter les divers systèmes de fosses septiques et de distributeurs.

Les *Sprinklers* en particulier n'avaient jamais été éprouvés dans des conditions aussi sévères qu'à Columbus, au point de vue de la rigueur de la température pendant la saison froide.

On décida de consacrer d'abord 46 000 dollars (230 000 francs) à ces essais qui portèrent sur :

7 fosses septiques rectangulaires, chacune de 600 mètres cubes de capacité;

2 filtres à coke, respectivement de 39 et 13 mètres carrés de surface;

4 lits de contact primaires et 2 secondaires;

5 filtres à Sprinklers, en calcaire concassé;

21 filtres à sable de dispositions variées.

La station devait épurer 160 mètres cubes par jour, du 15 juin 1904 au 30 juin 1905.

Les spécimens de sewage brut furent d'abord recueillis à des intervalles de 30 minutes pendant le jour, et on fit de fréquentes analyses de l'eau brute et de l'effluent de tous les systèmes expérimentés.

Le sewage brut de Columbus renferme beaucoup de résidus industriels de toutes sortes et une proportion très élevée de

matières en suspension. On peut en juger par les chiffres suivants :

Matières en suspension.	Par tête d'habitant, en grammes, par jour : Totales.	Décomposables par la combustion au rouge.
—	—	
Maximum	387	102
Minimum	6	3
Moyenne	98	47

La proportion de matières en suspension s'élevait donc en moyenne à 39t,5 par 1000 habitants et par an.

Traitements préparatoires. — Ils comprennent l'emploi :

De chambres à gravier;
De bassins de sédimentation méthodique;
De fosses septiques;
De bassins de précipitation chimique;
De filtres à coke.

On trouva que 50 ou 60 % des matières en suspension contenues dans le sewage brut (5 à 6 grammes par litre) sont si fines qu'on ne peut pas les éliminer par les procédés qui précèdent. Elles doivent donc être enlevées par un traitement subséquent

En ce qui concerne la sédimentation naturelle, on observa que 13 grammes environ par litre, soit 65 % des matières en suspension peuvent se déposer dans les bassins capables de recevoir le flot moyen de quelques heures ; un délai de 4 heures est très suffisant à cet effet. Lorsqu'on le prolonge, il ne se dépose pratiquement plus rien.

La sédimentation simple permet de séparer environ $1^{kg},44$ de boues par mètre cube, évaluée à l'état sec. Cette boue contient environ 87 % d'eau : 1 mètre cube en produit donc $12^{kg}.528$ à l'état frais.

La précipitation chimique par la chaux et le sulfate ferreux ou par le sulfate d'alumine fut essayée dans des bassins de sédimentation ayant une capacité égale au flot de 8 heures. On trouva que, tandis que les coagulants produisaient une précipitation plus rapide des matières en suspension que la sédimentation simple, les particules fines pouvaient être éli-

minées dans une proportion plus grande, mais avec plus de difficultés et avec une dépense assez considérable de réactifs précipitants. Le volume de boues est tellement plus grand que dans le cas de la sédimentation simple, qu'il apparaît avec évidence que ce procédé, à cause des frais qu'il entraîne, ne peut pas être pris en considération.

Dans les bassins de sédimentation simple, on est obligé d'enlever la boue accumulée, au moins une fois chaque semaine, dès qu'elle commence à se putréfier et à dégager des gaz.

On a étudié les *fosses septiques* de capacités différentes, permettant de recevoir le flot pendant des temps variables de 4 à 24 heures. Celles qui gardent le liquide 8 heures sont suffisantes en pratique pour permettre aux fermentations de s'accomplir. 50 % de la boue séparée du sewage brut y disparaît par liquéfaction et gazéification.

Les fosses septiques qui retiennent le flot de 24 heures n'accroissent pas très sensiblement le volume des boues dissoutes et, d'autre part, leur effluent ne s'épure pas avec plus de difficultés malgré cette fermentation prolongée.

Aucune odeur offensive n'est perceptible autour des fosses septiques, et la boue déposée, lorsqu'on l'enlève, est remarquablement inodore.

Les *filtres à coke* sont à rejeter car ils obligent à enlever environ 1 mètre cube de coke colmaté par 1000 mètres cubes d'eau traitée.

L'élimination des graisses par les filtres à coke fut d'environ 77 % ; par les bassins de sédimentation elle n'était que de 55 %.

Question des boues. — Il est toujours possible de déposer les boues sur le sol autour des bassins. Celles des fosses septiques présentent l'avantage considérable d'être beaucoup moins abondantes qu'avec les autres procédés. Elles peuvent en outre être évacuées dans les rivières aux époques de hautes eaux parce qu'elles ne sont plus putrescibles. Rien n'empêche dès lors de prévoir la construction de bassins capables d'accumuler les boues produites en 8 mois ou davantage, et de les vider en une seule ou en deux périodes par an, dès qu'elles peuvent être diluées dans 800 volumes d'eau de rivière.

Un autre avantage des fosses septiques est que la conser-

vation des boues pendant un si long temps amène la mort de la plupart des germes pathogènes. Au point de vue hygiénique, cet avantage est capital et aucun procédé de sédimentation ne le possède.

Avec la dilution dans 800 parties d'eau de rivière, la quantité de matière organique que renferme l'eau de la rivière en aval du point d'évacuation est moindre que celle que renferme la même rivière à l'époque des basses eaux lorsqu'elle reçoit seulement le sewage épuré par les lits bactériens.

L'évacuation de cette boue fermentée est infiniment moins nocive que la décharge en temps d'orage du flot d'eau d'égout brut qui peut contenir un nombre considérable de germes virulents.

Procédés de filtration. — Les procédés d'épuration finale susceptibles de donner des résultats pratiques sont :

1° Les filtres à sable intermittents, dont M. *Hering* a proposé l'adoption en 1901 ;

2° Les lits de contact et les filtres à Sprinklers, qui n'ont jamais été employés dans les régions du nord de l'Amérique où les hivers sont rigoureux.

Les *filtres à sable intermittents* se composent d'une couche de $0^m,90$ à $1^m,50$ de sable poreux provenant des rives du lac *Érié*.

On peut leur distribuer chaque jour une dose de sewage de $0^m,10$ à $0^m,30$ d'épaisseur. Le fond du filtre est drainé et les pores s'aèrent pendant les intervalles qui séparent les immersions.

Les *lits de contact* sont formés d'aires de cailloux brisés ou de coke en couches de 2 à 50 millimètres de diamètre sur $0^m,90$ à $1^m,50$ de profondeur. Ils fonctionnent par remplissage avec le sewage et évacuation après des temps variables de contact, de 1 à 3 fois par jour.

Les *filtres Sprinklers*, de $0^m,90$ à $1^m,50$ de profondeur également, formés de cailloux brisés, reçoivent le sewage en *Spray* soit par les tourniquets hydrauliques, soit par les jets fixes. Les derniers seuls peuvent fonctionner par les temps froids. Il s'accumule bien un peu de glace à la surface des filtres, mais les expériences ont prouvé qu'il n'en résulte aucun dommage sérieux.

Le choix des différents types de filtres doit varier beaucoup

suivant la perfection avec laquelle les matières en suspension sont éliminées par le traitement préparatoire.

Les lits de contact se sont montrés nettement inférieurs aux filtres à Sprinklers, tant au point de vue du degré d'épuration obtenue qu'à celui du volume d'eau traitée avec de bons résultats sur une même surface.

Avec le sewage distribué au moyen des becs pulvérisateurs fixes sur des filtres de pierres concassées, de $1^{m},50$ de profondeur, la projection du sewage, se faisant à environ $1^{m},20$ au-dessus de la surface du lit, on a trouvé parfaitement possible d'obtenir un effluent imputrescible avec un débit d'environ $2^{mc},27$ par mètre carré et par jour.

L'effluent des fosses septiques s'est comporté aussi bien, mais pas mieux que celui des bassins de sédimentation simple. Et bien que les odeurs soient perceptibles et désagréables près des becs, on ne sentait plus rien à une distance supérieure à 500 mètres.

Malgré que l'eau épurée ne soit plus putrescible, elle restait plus ou moins louche, et cela est dû à ce que des particules détachées à intervalles irréguliers des matériaux filtrants s'échappent en forme de filaments ou *films*. On doit chercher à éliminer par sédimentation la plus grande quantité possible de ces particules. Cela est facile en recueillant l'eau dans les bassins qui lui permettent de stagner pendant environ 2 heures.

Conclusions. — Dans les conditions locales de Columbus, le procédé de choix consiste :

1° A traiter le sewage dans des fosses septiques de capacité telle que le flot de 8 heures y soit capté et soumis à la fermentation septique;

2° A purifier l'effluent des fosses septiques par des lits bactériens à becs pulvérisateurs, au taux net de 2227 litres par mètre carré et par jour;

3° A clarifier finalement l'effluent en faisant séjourner l'eau épurée dans des bassins capables de retenir le flot de 2 heures.

Ce procédé produit un effluent imputrescible, parfaitement satisfaisant, et dans lequel 90 % des bactéries présentes dans l'eau d'égout brute sont éliminées.

CHAPITRE IX

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE EN FRANCE

Le nombre des installations d'épuration biologique artificielle qui ont été réalisées jusqu'à présent en France est extrêmement restreint. Ce fait est d'autant plus surprenant et regrettable que la plupart de nos villes et de nos grandes industries polluent abominablement nos rivières, nos fleuves et nos canaux, sous les yeux trop bienveillants des administrations publiques, et que l'ignorance des exemples que nous donnent les pays étrangers ne peut même pas être invoquée, puisque depuis six ans, dans une suite de publications ininterrompues, nous faisons avec MM. Launay, Imbeaux, Mahieu, Pottevin et quelques autres ingénieurs ou hygiénistes, les plus grands efforts pour créer un mouvement d'opinion favorable à la grande cause de l'assainissement.

Nous pouvons cependant espérer que la nécessité d'appliquer la loi du 15 février 1902 sur l'hygiène publique obligera bientôt les municipalités à s'occuper de cette question et que, s'il en est besoin, le Parlement saura faire de nouvelles lois pour les y contraindre. Comment concevoir que le pays qui a vu naître *Pasteur* soit le dernier à comprendre l'importance des mesures destinées à sauvegarder la santé du peuple?

Un très petit nombre de villes seulement, en dehors de Paris, a envisagé l'utilité d'aborder l'étude de ce problème et parmi celles qui paraissent s'en être vaguement préoccupées (*Rouen*, *Beauvais*, *Lille*, *Tourcoing*, *Saint-Quentin*, *La Rochelle*) il convient de faire une place à part, très honorable d'ailleurs, à Reims et à Toulon.

Reims, sous l'administration éclairée de son ancien maire

le Dr *Henrot*, a réalisé son assainissement d'une manière très satisfaisante par l'épandage agricole, et Toulon construit actuellement la première grande installation d'épuration biologique artificielle qui fonctionnera dans notre pays.

La ville de *Toulon*, plus que toute autre en France, avait besoin de s'assainir, car sa population dense se trouve constamment exposée aux contaminations par les navires susceptibles de lui apporter d'Extrême Orient les germes du choléra. Elle a confié à un ingénieur très distingué, M. *Valabrègue*, le soin de construire son réseau d'égout et, en même temps, une station d'épuration biologique dont l'achèvement est prochain.

Cette station fonctionnera d'après le système des lits bactériens à double contact et ceux-ci seront alimentés par des appareils à déversement automatique d'*Adams*.

Il est probable que les résultats en seront satisfaisants.

Nous eussions toutefois préféré, — comme nous l'avons conseillé lorsqu'il en était temps encore, — qu'on renonçât au double contact, pour adopter de préférence les filtres percolateurs automatiques. On eût réalisé ainsi une économie très appréciable, puisque la surface nécessaire pour épurer le même volume d'eau eût été moitié moindre, et le coefficient d'épuration eût pu être certainement plus élevé avec des frais d'entretien beaucoup plus réduits.

Nous aurons, du moins, dès l'automne de cette année 1907, la consolation de voir réaliser auprès de Paris, à Créteil, sous les auspices du Conseil général de la Seine, une grande expérience que prépare actuellement M. l'ingénieur des Ponts et Chaussées *Mahieu*, sous la haute direction de M. l'inspecteur général des Ponts et Chaussées *Hétier*.

Cette expérience portera sur un volume quotidien de 10 000 mètres cubes d'eaux de tout à l'égout provenant de *Maisons-Alfort* et de *Saint-Maurice*. Elle sera agencée de manière à permettre la comparaison, au double point de vue de l'efficacité et de l'économie, des systèmes du *double contact*, des *lits percolateurs* alimentés par les siphons de chasses automatiques et intermittentes, tels que nous les avons installés à la Madeleine, et des *lits percolateurs à jets d'eau*, semblables à ceux de *Birmingham* ou de *Chesterfield*.

Elle constituera donc une leçon de choses dont il est légitime d'attendre les plus heureux effets pour le triomphe de l'épuration biologique artificielle, qui n'a déjà plus d'ennemis ou d'indifférents que parmi ceux qui persistent à vouloir l'ignorer.

Jusqu'à présent, à défaut de l'initiative des villes, constatons du moins que l'initiative privée s'est volontiers laissée convaincre.

Un assez grand nombre de propriétés particulières ou d'établissements collectifs ont voulu appliquer le nouveau système. Quelques-unes de ces installations fonctionnent d'une manière très satisfaisante. D'autres sont défectueuses, parce que les architectes ou les constructeurs n'ont pas toujours compris, comme il l'eût fallu, qu'on ne peut pas épurer, avec des dispositifs identiques, des caux souvent très différentes les unes des autres. Certains ont voulu, au risque de courir à un échec, épurer par des lits bactériens des eaux trop riches en azote, ignorant que lorsque la teneur du liquide en ammoniaque dépasse 250 milligrammes par litre, la nitrification, c'est-à-dire l'épuration, cesse de s'effectuer. Certains autres enfin, ont voulu, coûte que coûte, placer un appareil breveté, parfois très efficace ailleurs, mais inutile ou nuisible dans tel cas particulier.

On ne saurait donc être trop circonspect dans une question aussi délicate que le choix d'un procédé d'épuration, et on ne doit s'arrêter à l'adoption d'un dispositif déterminé qu'après s'être entouré de tous les renseignements d'ordre technique indispensables.

Sur nos indications, quelques installations d'épurations biologiques ont été faites dans diverses localités pour les établissements hospitaliers (Châteauroux), et principalement dans les sanatoriums pour tuberculeux de *Bligny*, de *Villepinte* et de *Montigny-en-Ostrevent*.

Au *sanatorium de Bligny* (*près Briis-sous-Forges*, Seine-et-Oise), qui produit journellement environ 20 à 25 mètres cubes d'eaux vannes, on avait installé tout d'abord le système du Dr *Bréchot*, qui permet d'incinérer les déjections solides dans des tinettes filtrantes spéciales, et de stériliser par la chaleur les liquides dans un bassin où on les réunit à cet effet.

Ce système, au premier abord, paraît extrêmement séduisant, et il a séduit en effet un certain nombre d'architectes et d'hygiénistes, puisque l'assistance publique vient de le faire installer à son nouvel *hôpital Claude-Bernard* réservé aux malades contagieux.

Malheureusement, en pratique, il présente une foule d'inconvénients graves dont le moindre est de coûter excessivement cher, tant comme premier établissement que comme entretien.

A *Bligny*, l'appareil *Bréchot* se composait de tinettes filtrantes disposées dans les sous-sols, au bas de chaque chute de water-closets. Ces tinettes, contenant une certaine quantité de coke, devaient, tous les six ou huit jours, lorsqu'elles se trouvaient remplies, être désarticulées de leur tuyau de chute et transportées, à l'aide d'un véhicule spécial, dans un four à incinérer.

Or, non seulement il était impossible d'effectuer ce transport sans semer des déjections sur tout le trajet, mais l'incinération ne pouvait s'effectuer qu'avec un tel dégagement d'odeurs nauséabondes que l'on dut absolument renoncer à en faire usage.

A l'*hôpital Claude-Bernard* ces inconvénients sont atténués, d'abord par l'évacuation des produits de combustion dans une énorme cheminée d'usine, et ensuite parce que les tinettes, au lieu d'être mobiles et disposées au bas de chaque chute de water-closets, sont fixes et réunies dans l'endroit même où se pratique l'incinération. Mais alors les distances entre les water-closets et les tinettes sont tellement grandes que les déjections solides, agitées avec l'eau sur un long parcours se désagrégent, et le coke formant filtre ne retient plus guère que des papiers ou des pelures d'orange, pour l'incinération desquels on brûle 150 hectolitres de coke par semaine, soit environ pour 225 francs, non compris la main-d'œuvre!

D'autre part, les liquides qui ont traversé la tinette filtrante sont évacués dans un bassin. On a sagement fait de renoncer à les stériliser, comme à *Bligny*, par un serpentin de vapeur, car il en résultait, outre de trop grandes dépenses, une production d'odeurs infectes.

A *Claude-Bernard*, on mélange ces liquides à une proportion

convenable de chlorure de chaux et d'acide chlorhydrique, pour assurer la destruction complète des germes microbiens, et on les évacue directement à l'égout. Il en résulte une dépense supplémentaire qu'on peut évaluer à 50 francs par semaine.

Ce système d'épuration est évidemment très ingénieux, mais impraticable et coûteux à l'excès.

Aussi l'administration du sanatorium de *Bligny*, après une année entière d'essai loyal, fut-elle obligée de l'abandonner, et son très éminent architecte *M. Magne*, membre de l'Institut, décida d'installer l'épuration biologique avec le système des lits de contact.

Cette installation a donné d'excellents résultats. Elle nécessitait seulement un peu trop de main-d'œuvre pour la fermeture et l'ouverture des vannes, aux heures fixées par les périodes d'immersion et d'aération ; aussi vient-on de la modifier en supprimant les vannes et en remplaçant celles-ci par des siphons de chasses automatiques et intermittentes.

En avant des lits bactériens, sur un plan inférieur, on a creusé un large bassin ovale où se rend l'eau épurée. Des poissons y prennent leurs ébats et le trop-plein sert à l'arrosage des jardins potagers dont les cultures utilisent ainsi les nitrates formés.

L'installation du *Sanatorium de Villepinte* a été faite par *M. Guillaumot*, ingénieur, et fonctionne par le système des lits de contact, depuis janvier 1905. Comme elle se trouve placée dans un coin de parc boisé, on a dû recouvrir la fosse septique et les lits bactériens d'un treillis de grillages, afin d'éviter que les feuilles mortes tombées des arbres viennent s'y entasser.

Au sanatorium de *Montigny-en-Ostrevent* (près Douai, Nord), nous avons fait dresser nous-mêmes, par M. Hainez, architecte, les plans d'une installation qui peut servir de modèle pour les établissements de ce genre et pour les hôpitaux, les casernes et les agglomérations de peu d'importance.

Elle est destinée à épurer *automatiquement*, par le système des siphons de chasses intermittentes, un volume d'eau d'égout de 50 mètres cubes environ par jour.

Placée toute entière en élévation, au-dessus du sol (parce qu'à Montigny le sewage est refoulé par l'air comprimé au

moyen d'éjecteurs *Shone*), elle peut tout aussi bien être construite au ras du sol ou en contre-bas, si l'on dispose d'une dénivellation suffisante de terrain.

Comme il s'agit ici d'un égout séparatif, collectant seulement les matières de vidange et les eaux-vannes ménagères, on n'a pas jugé utile de donner à la chambre à sable une grande dimension. Elle mesure seulement $0^{m},75 \times 0^{m},75$ avec une profondeur égale à celle de la fosse septique, $3^{m},10$, et cette chambre à sable est munie, à sa partie inférieure, d'une vanne permettant d'en évacuer périodiquement les dépôts.

La fosse septique *couverte* — pour éviter autant que possible les odeurs, — mesure 6 mètres de long sur $2^{m},50$ de large et $3^{m},10$ de profondeur, dont $2^{m},60$ réellement utilisés. Elle est pourvue d'une chicane de fond et de deux chicanes de surface. Chacun des compartiments ainsi formés a sa cheminée pour l'évacuation des gaz; deux larges trous d'homme permettent au besoin de descendre dans la fosse pour y effectuer des réparations, et une vanne de fond peut servir soit à la vider complètement, soit à évacuer les boues lorsque le volume de celles-ci devient trop considérable.

Disons tout de suite, qu'après une année entière de fonctionnement régulier le volume de ces boues est insignifiant, et qu'on n'a jamais eu besoin de les enlever.

Au sortir de la fosse septique, les eaux tombent par un déversoir de trop-plein dans un canal ouvert qui les répartit, au fur et à mesure de leur arrivée, dans trois réservoirs de chasse contenant chacun un siphon du type *Doulton*. Ces siphons ont été construits et mis en place par *M. Degoix*, ingénieur à Lille.

Le lit bactérien, *unique*, est établi sur une *sole* imperméable en ciment, légèrement en pente de chaque côté de son grand axe. Il est enfermé entre quatre murs de $2^{m},25$ de hauteur, dont la base est criblée d'ouvertures destinées à assurer l'évacuation de l'eau épurée dans une rigole qui court sur trois côtés du lit, et la conduit dans un petit bassin dont le trop-plein est utilisé pour l'arrosage des jardins potagers.

Sur la *sole* du lit, on a disposé en rangées parallèles, à 1 mètre de distance les unes des autres, des drains simplement constitués par des tuiles faîtières dont la concavité est

dirigée en bas. Ces drains sont recouverts, sur $0^{m},30$, d'une rangée de grosses scories brutes de plus de 5 centimètres de diamètre. La couche entière de scories a $1^{m},75$ de hauteur.

La surface est creusée de rigoles garnies, sur la première moitié de leur longueur, de tuiles faîtières dont la concavité est tournée en haut.

Chaque réservoir de chasse dessert 1 tiers du lit et évacue, à chaque chasse, 400 litres d'eau dans une nochère percée de fentes correspondant aux rigoles d'irrigation.

Ces dispositifs sont complétés par l'adjonction d'un filtre à scories, dit *de sûreté*, qui fonctionnerait seulement au cas où un volume excessif d'eaux-vannes, arrivant tout à coup, ne pourrait pas être admis dans les réservoirs de chasse. C'est, en quelque sorte, un réservoir et un filtre d'orage.

Toute cette installation, construite en briques et ciment, dans des conditions particulièrement onéreuses, à raison de l'isolement à la campagne, a coûté 6000 francs. Elle ne nécessite presque aucune surveillance et aucune dépense d'entretien.

INSTALLATION EXPÉRIMENTALE D'ÉPURATION DE TOURCOING

La ville de *Tourcoing*, dont la population s'élève aujourd'hui à 95 000 âmes, s'est très rapidement développée en raison de l'énorme extension des industries lainières (peignages de laine et tissage de tapis). Elle déverse ses eaux d'égout en même temps que ses eaux résiduaires industrielles dans le ruisseau de l'Espierre, qu'ont rendu célèbre les nombreux différents élevés à son sujet entre la France et la Belgique.

Ce ruisseau, affluent de l'Escaut, reçoit sur son trajet, tout voisin de la frontière belge, l'énorme masse de résidus ménagers des trois grandes agglomérations de *Tourcoing*, de *Roubaix* et de *Wattrelos*, qui représentent ensemble près de 250 000 habitants. Les eaux boueuses qu'il charrie contiennent de 200 à 500 grammes de matières grasses par mètre cube (suint de mouton et graisses animales), qui en rendent l'épuration exceptionnellement difficile.

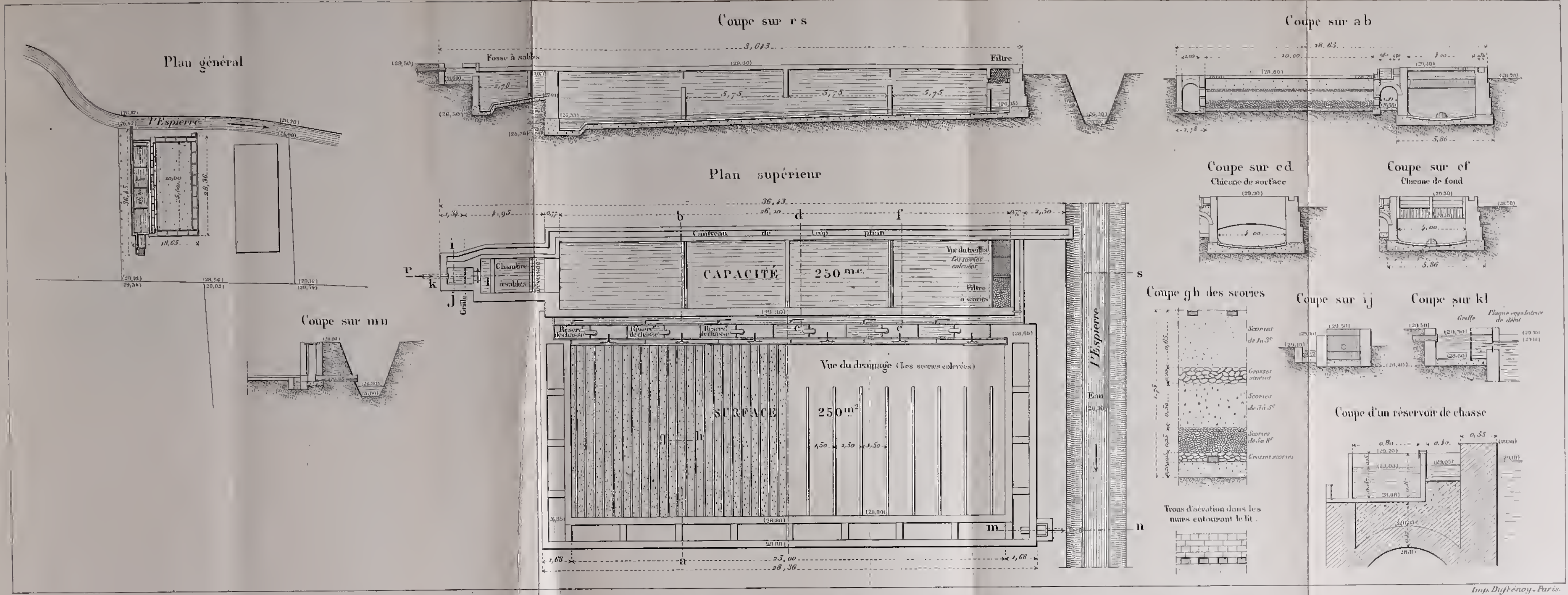
Son débit, très variable, oscille de 20 à 80 000 mètres cubes par jour.

Depuis de longues années on s'est préoccupé de chercher un procédé d'épuration susceptible de lui être appliqué. On a essayé successivement la précipitation par le lait ou l'eau de chaux, par le sulfate ferrique ou par l'acide sulfurique. On réussit, avec l'un quelconque de ces réactifs, à obtenir une séparation relativement satisfaisante des matières en suspension; mais ce résultat, étendu à la totalité du ruisseau, ne peut être obtenu qu'au prix de dépenses énormes, et d'une telle accumulation de résidus boueux très difficiles à dessécher à cause de leur richesse en graisses, qu'on ne s'est pas encore résolu à les mettre en œuvre.

Un moment, on avait espéré qu'il serait possible d'extraire les graisses des boues précipitées chimiquement, et de dégrever, par les bénéfices de leur vente, tout au moins une partie des frais d'épuration. Malheureusement, les essais tentés dans ce but ont montré que c'était là un chimérique espoir : outre que la composition des eaux à traiter est trop variable, la valeur des graisses extraites est à peu près nulle en raison des difficultés d'extraction qu'elles présentent. On a donc dû y renoncer.

Il ne paraît guère que le problème puisse être résolu autrement qu'en recueillant dans un égout spécial, et en traitant séparément, au moyen d'un procédé chimique quelconque, les eaux résiduaires des peignages de laine, dont le volume total pour les deux villes de *Roubaix* et *Tourcoing* s'élève à 15 000 mètres cubes environ par jour, et en appliquant les procédés biologiques, d'une part *à l'épuration des eaux d'égout ainsi débarrassées des graisses industrielles*, d'autre part *à celle de l'effluent obtenu après le traitement chimique des eaux de peignage*.

Sur le désir qui nous en a été exprimé par M. le *Dr Dron*, l'éminent député, maire de *Tourcoing*, nous avons abordé l'étude de cette question. Avec l'aide de notre dévoué collaborateur, *M. Le Noan*, conducteur des ponts et chaussées, et celle de M. le directeur des travaux municipaux de la ville de Tourcoing, nous avons fait construire, sur des terrains dépendant de l'usine municipale du gaz, une petite installation



E. Morieu, Gr. Imp. Dufrénoy - Paris.

VILLES DE ROUBAIX ET DE TOURCOING — ESSAI D'ÉPURATION BIOLOGIQUE DES EAUX D'ÉGOUT NON MÉLANGÉES D'EAUX DE PEIGNAGE

d'essai permettant d'épurer par le système biologique de 250 à 290 mètres cubes d'eau d'égout par jour.

Bien que nos expériences nous donnent déjà toute satisfaction, nous estimons qu'elles sont commencées depuis trop peu de temps (15 septembre 1906) pour que nous en publiions dès à présent les résultats. Elles portent seulement sur les eaux débarrassées de résidus de peignage, lesquelles sont dirigées par une canalisation séparée vers une petite usine de précipitation chimique créée et dirigée par le service des ponts et chaussées.

Nous nous proposons cependant de décrire ici les dispositifs que nous avons adoptés, parce qu'ils nous paraissent répondre aux besoins ordinaires de la plupart des installations de ce genre pour les villes de minime importance.

L'eau d'égout brute, amenée par le canal P (voir planche III), passe d'abord dans une chambre à grille de 1 mètre de largeur sur $1^{m},50$ de longueur et 1 mètre de profondeur. Elle se déverse ensuite par un régulateur de débit construit sur les indications de M. Parenty, et dont on lira la description plus loin, dans une fosse à sables *l* de 12 mètres cubes de capacité, pourvue d'une chicane de surface pour amortir le courant. Le liquide passe, de là, en déversoir dans la fosse septique de 250 mètres cubes de capacité et de 26 mètres de longueur où s'opèrent, grâce à trois chicanes incomplètes, la décantation méthodique et la fermentation anaérobie des matières organiques en suspension.

A l'extrémité de la fosse septique, l'eau se débarrasse de toutes les parcelles un peu volumineuses de substances solides entraînées, en traversant *de bas en haut* un filtre de grosses scories supportées par une large plaque de tôle perforée. Elle sort enfin par le déversoir et tombe dans le canal qui la distribue à cinq réservoirs de chasses, munis chacun d'un siphon à amorçage automatique et intermittent du système *Parenty*.

Chacun de ces réservoirs de chasses alimente une nochère distributrice en ciment, percée de fentes verticales qui correspondent aux rigoles d'arrosage, lesquelles sont constituées par une série de briques creuses placées bout à bout, non rejointoyées et posées à plat avec une légère pente sur toute la largeur du lit bactérien, soit 10 mètres.

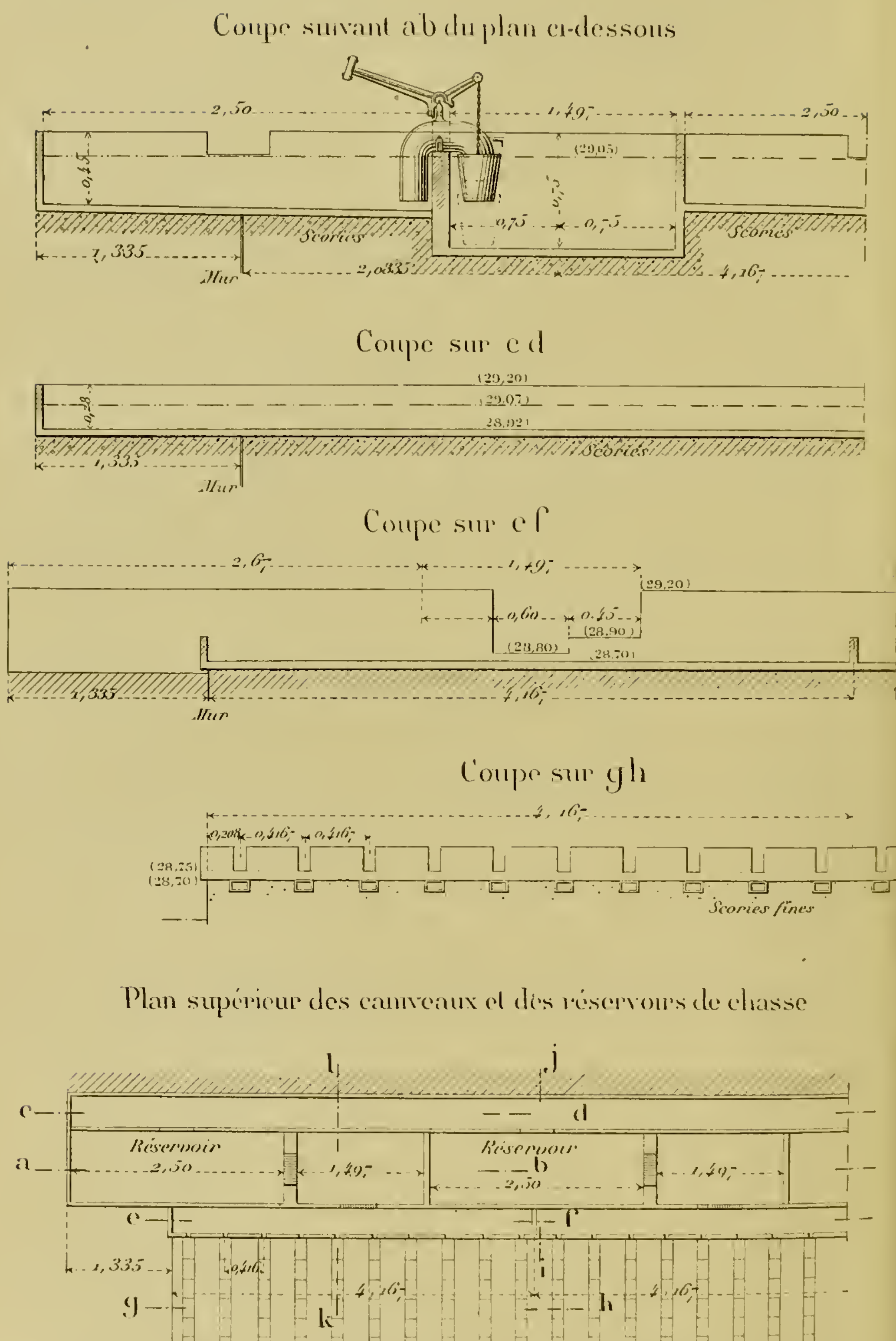
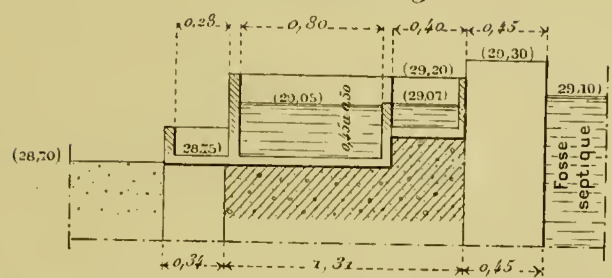
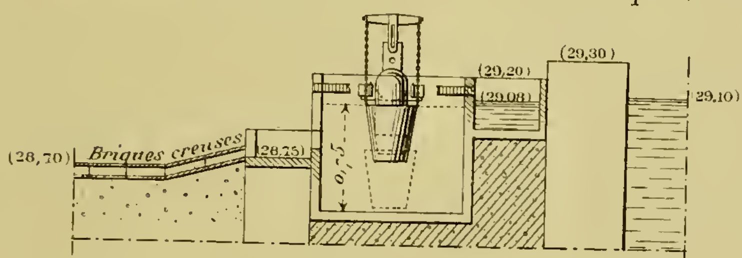


Fig. 55. — Station expérimentale de *Tourcoing*. — Plans de détails d'installation des siphons de chasse.

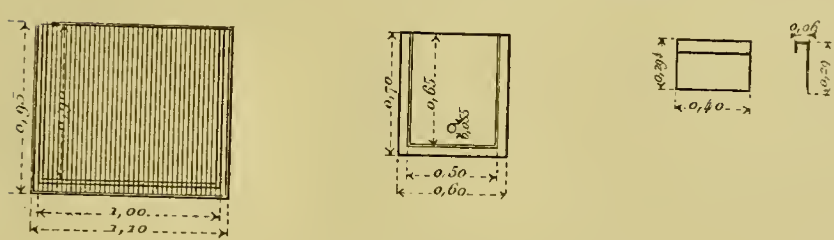
Coupe sur ij



Coupe transversale d'un réservoir de chasse avec son siphon, sur kl



Grille — Plaque de jauge — Plaques de déversoirs



Calcul de l'orifice de jauge :

Débit par 24 heures = 250 m³ ; par seconde = 0 m³,003 litres

$$\text{Débit} = 0{,}62 \text{ section} \times \sqrt{2gh}$$

$$\text{d'où diamètre} = \sqrt{\frac{4 \times 0{,}03}{3.1416 \times 0{,}62 \times 1.98}} = 0.055$$

Coupe de la grille et de la plaque de jauge

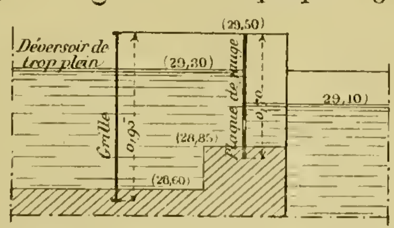


Fig. 56. — Station expérimentale de *Tourcoing* (détail de l'appareillage).

Le lit bactérien, *unique*, a une superficie de 250 mètres carrés et $1^m,75$ de profondeur. Il est formé au fond, sur $0^m,40$, de grosses scories de 5 à 8 centimètres de diamètre sur $0^m,50$; de scories de 3 à 5 centimètres de diamètre, au milieu, sur $0^m,20$; et jusqu'à la surface de scories fines, de 1 à 3 centimètres de diamètre.

Les murs de soutènement, sur trois côtés, sont perforés à leur base et à deux étages sur le milieu, d'une série d'échancrures permettant, les premières l'écoulement de l'eau épurée dans une rigole collectrice de 1 mètre de largeur, les secondes l'aération latérale de la masse des scories.

Au fond du lit, un système de drains en briques creuses, espacés de $1^m,50$ assure, sur une pente légère, l'évacuation complète du produit des chasses intermittentes déversées sur les scories par les siphons.

Tous les détails de construction du système sont indiqués sur les figures 55 et 56, que nous devons à l'obligeance de *M. Le Noan*. Nous prions le lecteur de vouloir bien s'y reporter, et ce que nous avons dit précédemment à propos de notre installation expérimentale de la Madeleine, suffira sans doute à lui faire comprendre le fonctionnement de celle-là sans qu'il soit utile d'insister davantage.

Il trouvera, en particulier, sur la planche III, les indications relatives au mode d'agencement des siphons de chasses, des nochères distributrices et des règles d'alimentation du lit bactérien.

Telle que nous l'avons conçue et fait exécuter, cette installation d'expériences peut être reproduite, réduite ou agrandie, suivant le volume d'eau d'égout qu'il s'agira d'épurer. On peut être sûr qu'avec des eaux résiduaires urbaines ou industrielles, épurables par les procédés biologiques, elle donnera toute satisfaction.

CHAPITRE X

VALEUR COMPARÉE DE L'ÉPANDAGE AGRICOLE ET DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE

Au point où nous en sommes de nos études sur l'épuration biologique et avec la connaissance que nous avons acquise des résultats obtenus par l'application de cette méthode dans les pays étrangers, l'heure est venue de nous demander s'il y a lieu d'abandonner la pratique séculaire de l'utilisation agricole des eaux d'égout ou tout au moins de renoncer aux projets d'extension des champs d'épandage dans les villes qui ont adopté ce système d'assainissement.

Pour fixer nos idées sur cette grave question, il est nécessaire de nous renseigner d'abord, aussi exactement que possible, d'une part sur les résultats sanitaires et financiers de l'épandage agricole à *Berlin* et à *Paris* par exemple, où il a été le plus scientifiquement appliqué; d'autre part, sur les raisons qui ont déterminé un grand nombre de villes à renoncer à son emploi et à lui préférer l'épuration biologique.

Nous avons donc jugé indispensable de nous documenter sur place, auprès des hommes les plus compétents en matière d'irrigation culturale, tant en Allemagne qu'en Angleterre, et nous apportons ici les données fournies par notre enquête, pour en tirer ensuite les conclusions qu'elle nous paraît devoir comporter.

A. — Les champs d'épandage de la ville de Berlin[1].

Superficie. Quantités d'eaux traitées. — Les domaines agricoles utilisés par la ville de Berlin pour l'épuration de ses

(1) Les renseignements relatifs à cette question proviennent en partie du rapport du Pr. Dr. Backhaus sur l'épandage à Berlin en 1904, et en partie de

eaux d'égout comprenaient environ, en 1905, 15 722 hectares. Sur ce chiffre, 8000 hectares sont actuellement aménagés pour l'épandage; les terrains disponibles atteignent donc encore 7722 hectares qui se répartissent de la façon suivante :

Terres labourables	1 851	hectares.
Prairies	599	—
Bois	1 564	—
Cours, chemins, fossés, etc.	1 400	—
Parcs, jardins, etc.	124	—
Oseraies	55	—
Terres affermées	857	—
Jachère	1 314	—

La quantité d'eau d'égout à traiter journellement atteint en moyenne 240 000 mètres cubes : comme la ville dispose de 8000 hectares aménagés pour l'épandage, chaque hectare doit donc recevoir journellement une dose de 30 mètres cubes d'eau, soit 3 litres par mètre carré de surface et par jour. L'expérience a démontré que cette quantité peut parfaitement être supportée par les terres, surtout si l'on fait précéder l'épandage d'une décantation préalable de l'eau d'égout, opération qui sera étudiée plus loin. Comme la surface aménagée peut être portée au minimum à 12 000 hectares, il en résulte que la ville de Berlin possède les terrains suffisants pour traiter une quantité d'eau supérieure de moitié à la quantité actuellement traitée.

Avec la dose de 30 mètres cubes par hectare et par jour, 1 hectare de terrain correspond environ à 250 habitants. Il est hors de doute que, même avec cette faible alimentation, on perd une quantité sensible de matières nutritives pour les plantes. Pour utiliser d'une façon rationnelle les substances fertilisantes contenues dans les eaux, il faudrait augmenter beaucoup la surface des champs d'épandage; mais le bénéfice réalisé par une meilleure utilisation des matières résiduelles serait illusoire, à cause du prix élevé des terrains aux environs de Berlin et à cause de l'augmentation de la main-d'œuvre et des difficultés d'écoulement des produits. Au point de vue agricole, il n'est donc pas rationnel de chercher à diminuer ce

documents personnels recueillis par l'un de nous, lors d'une visite récente des domaines de la ville de Berlin.

chiffre de 50 mètres cubes d'eau par hectare et par jour; on examine plutôt, au contraire, s'il ne serait pas possible de l'augmenter.

Administration. — Les propriétés agricoles de la ville de Berlin sont divisées en huit *administrations*, d'environ 2000 hectares chacune, et correspondant chacune à une canalisation déterminée. La ville exploite ainsi directement ses domaines, et les terres affermées ne représentent qu'une faible portion de l'étendue totale. Les administrations d'Osdorf, de Malchow, de Falkenberg et de Blankenfelde, qui entourent immédiatement la ville de Berlin, sont organisées surtout pour la vente directe du foin, des betteraves, de la paille et des fruits à la ville; elles ont, en outre, trouvé à louer des terres à des jardiniers pour la culture des légumes. L'administration de Grossbeeren, placée près du chemin de fer d'Anhalt, écoule ses produits par cette voie; celle de Buch a pu jusqu'ici se maintenir grâce à l'exploitation rationnelle de la laiterie et de la distillerie, et elle trouve dans les établissements avoisinants de bons débouchés. Mais pour les administrations de Sputendorf et de Schmetzdorf, beaucoup plus mal situées, le problème de l'écoulement des produits est très difficile et n'est pas encore résolu.

Sol. Aménagement. — Le sol des environs de Berlin est un sol d'alluvions, tantôt marneux, tantôt sableux, tantôt argileux et sableux, parfois tourbeux. Les sols les plus légers ne sont pas ceux qui y donnent les meilleurs résultats; l'épuration y laisse souvent à désirer. Le sol qui se montre le plus favorable, aussi bien au point de vue agricole qu'au point de vue épuration, est le sol moyen, constitué par du sable argileux.

On a remarqué que l'aménagement des champs a, au début, une influence très défavorable sur la culture. Le nivellement exige en effet, dans beaucoup d'endroits, l'enlèvement de la terre arable superficielle, et dans d'autres endroits l'apport de terres provenant de fossés, de chemins, etc. A Malchow, les conséquences de cet aménagement sont encore sensibles après vingt-cinq ans. En outre, l'aménagement a occasionné des pertes considérables de terrain sous la forme de fossés et de

chemins. Le meilleur moyen de réduire ce dernier inconvénient consiste à adopter des parcelles assez grandes. Mais, par contre, les petites surfaces sont celles qui se prêtent le mieux à un épandage régulier; l'expérience a démontré qu'à Berlin l'eau ne pouvait pas être conduite régulièrement plus loin que 50 mètres. On a donc dû adopter des dimensions moyennes, et la meilleure paraît être celle de 50 ares, 50 mètres de large sur 100 mètres de longueur. L'exploitation agricole en est plus facile, mais souvent ces dimensions ne peuvent être adoptées qu'au prix d'un nivellement onéreux.

Si on rapporte à l'hectare les dépenses effectuées par la ville de Berlin pour le drainage et l'aménagement de ces terres, on arrive au chiffre de 1322 marks par hectare.

Capital. — En 1903, les dépenses totales effectuées pour les 14 184 hectares de terres ont atteint 54 184 075 marks, soit 3820 marks par hectare. Sur ce chiffre, 1858 marks correspondent à l'achat, 1322 marks au drainage et à l'aménagement et 640 marks aux bâtiments, matériel et dépenses diverses. Le capital se trouve ainsi réparti :

	Par hectare.		Chiffres normaux.	
	marks	%	marks	%
Valeur du sol	1 858	48,76	360	30
Aménagement	1 322	34,50		
Bâtiments	509	13,32	276	23
Inventaire matériel	43	1,12	144	12
Inventaire animaux	59	1,54	240	20
Capital courant	29	0,76	180	15
Total	3 820	100,00	1 200	100

On voit par le tableau qui précède, emprunté au rapport de M. le professeur *Backhaus*, que la plus grande partie du capital est prise par l'achat du sol et l'aménagement; tandis que les autres fractions, qui doivent être considérées en agriculture comme les plus lucratives, sont extraordinairement basses. En outre, le capital total est au moins trois fois plus élevé que dans les conditions normales. Le capital n'a donc pas été épargné pour cette mise en exploitation ; mais sa répartition laisse à désirer, à cause des conditions spéciales où se trouve cette culture au point de vue de l'achat des terrains et de l'aménagement.

Cultures. Assolements. — Au voisinage immédiat de Berlin, la culture la plus rémunératrice est celle des légumes, qu'on écoule à la ville; aussi trouve-t-on aisément à louer des terrains à des maraîchers à raison de 240 marks, soit 300 francs par hectare. Il est cependant à remarquer que ces légumes sont dépréciés sur le marché de Berlin.

Les betteraves et les pommes de terre constituent d'excellentes cultures. La pomme de terre a l'inconvénient de ne pas supporter l'épandage au printemps et en été, mais on arrive cependant, par épandage exclusif en hiver et par un mode rationnel de culture, à bien faire venir la pomme de terre sur les champs d'épandage.

La prairie est la culture idéale pour l'épandage : elle donne, à Berlin, facilement six coupes de foin d'excellente qualité; mais l'inconvénient de cette exploitation réside dans la difficulté d'écoulement de ce produit. On y remédie partiellement en desséchant le foin dans des appareils dessiccateurs spéciaux, dont un certain nombre sont actuellement à l'étude.

La betterave à sucre, le houblon, le tabac ne peuvent être cultivés sur les champs d'épandage à Berlin, car ils fournissent des produits de trop basse qualité. Le cumin, le colza, la navette donnent de bons résultats, mais les prix de ces produits sont si bas qu'on en cultive assez peu. On a également tenté la culture du chanvre.

Enfin, les céréales sont également cultivées, mais le moins possible, car les produits obtenus ne sont jamais comparables à ceux qu'on obtient dans les autres exploitations agricoles. La qualité des grains est médiocre, sa conservation en greniers est mauvaise.

La culture fruitière, notamment des pommiers, se fait le long des chemins et des fossés et réussit bien; elle permet de compenser en partie les pertes de terrain occasionnées par les chemins. Il en est de même des oseraies dans les fossés.

Les champs non aménagés sont soumis à la culture ordinaire : on y fait surtout de la pomme de terre, du seigle et de l'avoine. Enfin, 1750 hectares de bois sont conservés jusqu'au moment où leur aménagement pour l'épandage deviendra nécessaire; bien exploités, ils fournissent le mode d'attente le plus rémunérateur.

Voici quelques exemples d'assolements des champs d'épandage :

1°

1. Loué.	7. Céréales d'été.
2. »	8. } Prairie.
3. »	9. } Prairie.
4. Céréales d'été.	10. } Prairie.
5. Céréales d'hiver.	11. Betteraves ou pommes de terre.
6. Betteraves ou pommes de terre.	12. Céréales d'été.

2°

1. } Prairie.	7. Betteraves ou pommes de terre.
2. } Prairie.	8. Céréales d'été.
3. } Prairie.	9. Céréales d'hiver.
4. } Prairie.	10. Colza.
5. } Prairie.	11. Céréales d'hiver.
6. } Prairie.	12. Céréales d'été.

3°

1. Betteraves ou pommes de terre.	5. Céréales d'hiver.
2. Céréales d'été.	6. Betteraves ou pommes de terre.
3. Céréales d'hiver.	7. Céréales d'été.
4. Colza.	

4°

1. Betteraves ou pommes de terre.	7. Colza.
2. Céréales d'été.	8. Céréales d'hiver.
3. } Prairie.	9. Betteraves ou pommes de terre.
4. } Prairie.	10. Céréales d'été.
5. } Prairie.	
6. } Prairie.	

Épandage proprement dit. — L'eau d'égout est envoyée par des pompes dans des canalisations en fonte jusque sur les champs. La longueur de ces canalisations est parfois très considérable, et certaines administrations sont environ à 20 kilomètres de la section dont les eaux doivent être épurées. Ces canalisations sont, par suite, extrêmement coûteuses. Un des faubourgs de Berlin, Wilmersdorf, a dû faire construire une canalisation de 18 kilomètres, qui a coûté 4 millions, pour conduire ses eaux à un endroit suffisamment vaste pour pouvoir y faire l'application des *procédés biologiques*, la surface utilisable étant encore, même à cette distance, tout à fait insuffisante pour y pratiquer l'épandage avec utilisation agricole !

On peut assez exactement contrôler, dans les stations de

pompes, les quantités d'eaux envoyées à l'épuration : on trouve que le volume total des eaux est d'environ 240 000 mètres cubes par jour; chaque administration reçoit donc environ 35 000 mètres cubes. Il est assez difficile de connaître la composition chimique moyenne de ces eaux, car elle varie sans cesse. Voici cependant des analyses, dues à *Hagen* et *Grandtke*.

Extrait sec par mètre cube	1 178	grammes.
Azote	109	—
Potasse	74	—
Acide phosphorique	29,4	

D'autres analyses plus récentes semblent montrer que ces chiffres sont trop élevés; la quantité d'azote par mètre cube ne paraît pas dépasser par exemple le chiffre de 95 grammes.

La bonne répartition de l'eau sur les champs d'épandage est un problème difficile, qui attire toute l'attention des administrateurs. Les quantités d'eau que peuvent absorber les terres sont variables avec la nature des cultures; en outre, il se produit assez fréquemment de fausses manœuvres qui font que certains champs reçoivent trop d'eau et d'autres pas assez. Lorsque le nivellement du terrain n'est pas parfait, et notamment sur les grandes parcelles, les points bas reçoivent beaucoup plus d'eau que les points élevés; les dépôts s'accumulent alors dans les creux, et le colmatage ne tarde pas à s'y manifester.

On n'est pas encore fixé, à Berlin, sur le chiffre le plus favorable à adopter pour le volume de l'eau à épandre. Il est certain quil y a des cultures qui peuvent parfaitement supporter plus de 30 mètres cubes par hectare et par jour, tandis que pour d'autres cultures, comme les céréales, ce chiffre est déjà trop élevé.

Traitement préalable des eaux. Utilisation des boues. — Pendant longtemps, on s'est contenté d'envoyer directement les eaux sur les champs d'épandage sans aucun traitement préalable. Les dommages causés par le colmatage des terres ont amené peu à peu les administrateurs à adopter des bassins de décantation préalable qui retiennent une grande quantité de boues, notamment les particules grossières et les graisses, et

ne laissent passer que l'eau et les fines particules. L'inconvénient de ce mode de travail est que l'exploitation devient beaucoup plus coûteuse : ces bassins de dépôt font perdre du terrain, il faut prévoir dans leur voisinage des espaces suffisants pour l'égouttage des boues; leur vidange exige une main-d'œuvre coûteuse et donne naissance à des odeurs très désagréables. Enfin, les boues sont assez difficiles à utiliser.

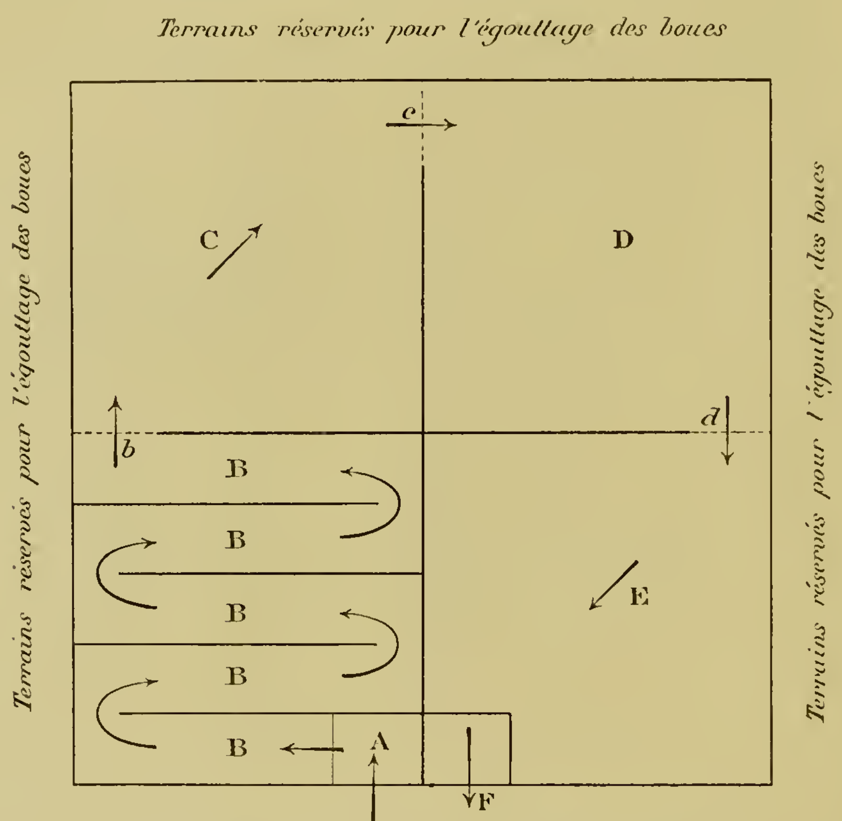


Fig. 37. — Schéma des bassins de dépôt pour le traitement préalable des eaux destinées à l'épandage à Osdorf (Berlin).

A Osdorf, le traitement préalable des eaux se fait ordinairement de la façon suivante. Les eaux brutes arrivent en A (*fig.* 37) et parcourent d'abord une série de compartiments B, disposés en chicanes sous forme de canaux de 20 centimètres de profondeur; le courant s'y ralentit peu à peu et est devenu très faible quand l'eau arrive à la grille *b* du premier bassin C. Les bassins, au nombre de trois, ont environ chacun 10 mètres de côté et 1 mètre de profondeur. L'eau arrive d'abord dans le bassin C, passe par la grille *c* dans le bassin

contigu D, puis par la grille *d* dans le bassin E et s'écoule en F vers les champs d'épandage.

A la surface du bassin C se forme bientôt une croûte très épaisse de graisses et de corps flottants, tandis que les matières lourdes se déposent. Dans le bassin D, on constate le même phénomène, mais moins accentué; enfin, dans le troisième bassin E, la croûte superficielle est devenue très faible.

L'eau, qui entre noire et chargée de graisses et de dépôts lourds, sort encore noirâtre, mais elle ne contient plus que des dépôts très légers, qui flottent dans toute la masse.

Les grilles sont généralement formées tout simplement par des osiers. Sur les côtés des bassins, on a réservé un espace à peu près égal pour l'égouttage et la dessiccation des boues.

Celles-ci sont généralement enlevées deux fois par an, et pendant cette période le bassin ne fonctionne pas. Les boues, dont l'odeur est très désagréable, sont étendues sur le sol qui entoure les bassins, et abandonnées à la dessiccation. L'analyse des boues fraîches retirées d'un bassin de décantation d'Osdorf a fourni au professeur *Salkowsky* les résultats suivants :

	Boues.	Cendres.
Chaux	4,000	20,24 %
Potasse	0,071	0,36
Soude	0,290	1,46
Acide phosphorique	0,950	4,78
Chlorure de sodium	0,044	0,22
Oxyde de cuivre	»	1,59
Eau	36,75	
Graisse	6,18	
Cellulose	51,59	
Azote	5,25	

On voit que ces boues sont surtout composées de cellulose et de graisses, qui ne peuvent avoir sur les terres qu'une influence nuisible. Par contre, leur teneur en azote, en acide phosphorique et en potasse en fait un engrais d'assez grande valeur. Mais il est nécessaire, pour pouvoir les employer comme engrais, de les abandonner d'abord à l'air libre au moins pendant six mois, en les retournant, pour permettre la destruction partielle des graisses et de la cellulose par les moisissures et par l'oxygène de l'air. Elles sont alors recueillies, laissées en repos, encore parfois pendant un an, puis broyées

et utilisées comme engrais sur les terres non aménagées.

Des expériences entreprises à Berlin sur la valeur fertilisante de ces boues ont montré que, quand on les mélange intimement à la terre, elles ont sur la végétation une influence néfaste. Il est nécessaire, après avoir répandu ces boues, de les enfouir à 15 à 18 centimètres de profondeur, afin que les racines des plantes ne les atteignent que quand elles sont déjà fortes; on observe alors une action favorable. On a également cherché à brûler ces résidus de décantation, qui sont très

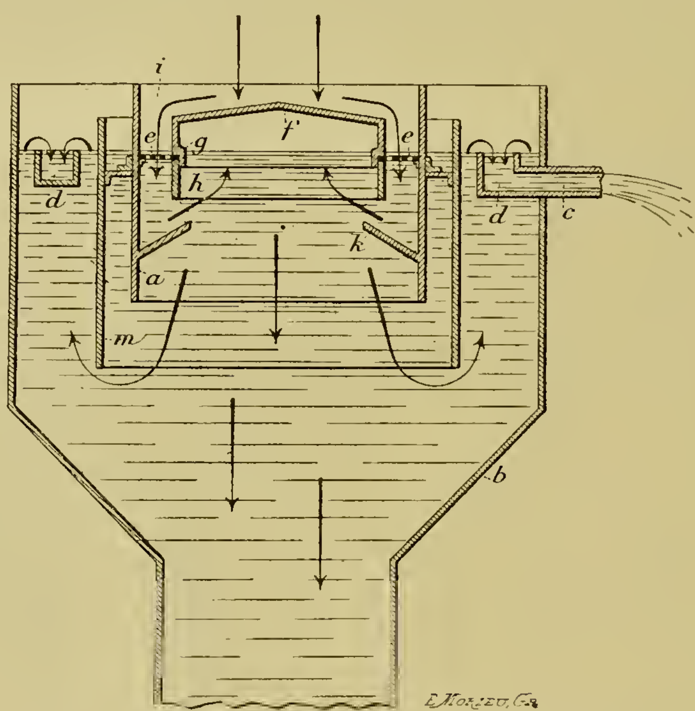


Fig. 58. — Schéma de l'appareil *Kremer* pour la séparation des graisses des eaux d'égout.

combustibles par suite de leur richesse en cellulose et en graisses. On les transforme alors en briquettes, et on cherche actuellement à utiliser comme engrais les cendres qui proviennent de cette combustion.

Des essais ont été faits, en outre, à Osdorf, sur le traitement préalable des eaux au moyen de l'appareil *Kremer*. Cet appareil a pour but de séparer les matières en suspension dans l'eau, et de les diviser en deux groupes : les matières légères et les graisses, qui vont à la surface, et les matières lourdes, qui tombent au fond.

L'appareil *Kremer* se compose en principe de quatre caisses placées les unes dans les autres de manière à laisser entre elles un espace libre (*fig.* 58). La caisse extérieure est terminée en entonnoir; la caisse centrale est munie d'un couvercle *f*, qui sert à la répartition de l'eau dans l'appareil. L'eau passe d'abord dans un bassin où elle se débarrasse du sable, puis elle coule sur le couvercle *f*, se répartit de chaque côté dans l'appareil par les orifices *e*, et pénètre dans la caisse centrale. Là, elle rencontre un éperon *k*, qui retarde son mouvement de descente et dirige le courant vers le haut. Dans ces conditions, il se produit une séparation des matières en suspension : les matières légères sont entraînées vers la surface, où elles s'accumulent sous le toit *f*, en formant une couche plus ou moins épaisse; les matières lourdes suivent la direction des grandes flèches droites et se rassemblent au fond. L'eau, après avoir subi ce mouvement vers le haut, reprend son chemin dans la direction des flèches courbes et s'écoule par les orifices *d*. En outre, il se forme aussi, le long des parois *a* et *m*, de véritables colonnes d'eau dormante, où se rassemblent encore quelques substances légères qui ont échappé à la première séparation.

La surface occupée par un appareil *Kremer* est de 15 mètres carrés; sa hauteur est de 1^m,20 à 2 mètres et un tel appareil peut traiter 1000 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures. Les essais effectués à Osdorf ont montré que l'eau, à la sortie, est débarrassée de la majeure partie des graisses et des matières en suspension. En travail continu, l'appareil élimine environ 50 pour 100 de ces matières; en travail discontinu, c'est-à-dire en laissant l'appareil dix minutes en fonctionnement, puis dix à vingt minutes en repos, on arrive à éliminer en moyenne 70 pour 100 de ces matières. Voici d'ailleurs les résultats obtenus, ainsi que le nombre des appareils nécessaires pour chaque mode de travail :

1° Pour clarifier chaque jour 1000 mètres cubes d'eau, en enlevant 50 pour 100 des matières en suspension, sans qu'il reste dans l'eau de substances ayant plus de 5 millimètres de grosseur, il faut un appareil;

2° Pour clarifier chaque jour 1000 mètres cubes d'eau, en enlevant 70 pour 100 des matières en suspension, sans qu'il

reste dans l'eau de substances ayant plus de 2 millimètres de grosseur, il faut deux appareils;

3° Pour clarifier chaque jour 1000 mètres cubes d'eau, en enlevant plus de 70 pour 100 des matières en suspension sans qu'il reste dans l'eau de substances ayant plus de 1 millimètre de grosseur, il faut trois appareils.

Les avantages de l'appareil *Kremer* sont les suivants : économie de place, facilité d'extension en augmentant le nombre des éléments, récolte facile des graisses et des boues, séparément, à la surface et au fond. L'inconvénient principal est que, quand on doit traiter de grandes masses d'eau, ce qui est le cas des grandes villes, on doit tous les jours enlever la couche de graisses et vider les boues de l'appareil, ce qui nécessite une main-d'œuvre continue que n'exigent pas les bassins de dépôt.

Les matières extraites sont d'autant plus faciles à utiliser qu'elles sont séparées en matières lourdes et matières grasses. La couche superficielle récoltée contient en moyenne 86 pour 100 d'eau et 6 pour 100 de graisse. Cette couche est donc déjà assez sèche; elle se prête très bien, grâce à sa haute teneur en graisse, à la combustion; mais il est préférable d'en extraire la graisse. La matière sèche contient en effet 45 à 50 pour 100 de matières grasses, qui peuvent être extraites et servir à la fabrication des savons et des bougies. Quant à la couche inférieure, elle ne contient plus de graisse; elle peut donc être facilement pressée et utilisée, après dessiccation, comme engrais. Elle peut servir également à faire des briquettes combustibles, car elle contient une proportion notable de cellulose.

Voici un exemple, emprunté au travail du professeur *Backhaus*, des résultats fournis par le traitement préalable de l'eau à Berlin :

	Milligrammes par litre d'eau.	
	Primitive.	Après traitement.
Extrait sec	1 560	875
Perte au rouge	670	340
Résidu au rouge	890	535
Azote total	91,7	86,5
Ammoniaque	65,5	65,5
Permanganate décomposé	1 115,5	1 121,8
Oxygène correspondant	282,2	283,8

Les résidus obtenus ont été utilisés en partie pour l'extraction des graisses, en partie pour la fabrication de briquettes combustibles. La détermination de la valeur calorifique de ces briquettes a donné 3467 calories, et leur composition était la suivante :

Carbone	32,93 %
Hydrogène	3,22
Oxygène, azote, soufre, etc.	16,74
Cendres	47,11

On étudie actuellement l'utilisation comme engrais de ces cendres résiduaires.

Il résulte de tout ce qui précède que la décantation préalable des eaux avant l'épandage est considérée aujourd'hui comme nécessaire par la ville de Berlin. Chaque litre d'eau d'égout apporte en effet près de 1500 milligrammes de matières en suspension, et on peut évaluer, d'après les analyses de Schreiber, à 20 grammes par tête d'habitant et par jour la quantité de graisse apportée par l'eau d'égout. Il est donc nécessaire de tenir compte, dans les prix de revient de l'épandage agricole, de l'espace employé pour l'aménagement de ces dispositifs de décantation, et des frais nécessités par le traitement ultérieur des boues.

Quantités de matières fertilisantes apportées par l'eau d'égout. — Voici, d'après le professeur *Backhaus*, quelles sont, en kilogrammes, les quantités de matières fertilisantes apportées par les eaux d'égout sur les champs d'épandage, dans les diverses administrations de la ville de Berlin.

	OSDORF 12 378 mc. par hectare et par an.	GROSSBEEREN 11 467 mc. par hectare et par an.	SPUTENDORF 14 285 mc. par hectare et par an.	FALKENBERG 12 006 mc. par hectare et par an.	MALCHOW 13 325 mc. par hectare et par an.	BLANKENFELDE 9622 mc. par hectare et par an.
Azote	859	807	1033	1220	1016	998
Acide phosphorique	161	197	243	313	193	268
Potasse	711	807	697	752	757	653

Ce sont là des quantités énormes, mais il ne faut pas perdre de vue que beaucoup de substances, notamment de l'azote et un peu de potasse, sont enlevées par les eaux de drainage. En tenant compte de la composition et des volumes moyens des eaux de drainage, on peut évaluer ainsi ce qui reste, pour les 12 378 mètres cubes de l'administration d'Osdorf :

Azote	454	kilogrammes
Acide phosphorique.	154	—
Potasse	637	—

On voit que les rapports de l'acide phosphorique à la potasse et à l'azote sont de 1 à 4 et de 1 à 3, tandis que dans la pratique on adopte ordinairement les rapports de 1 à 2 et de 1 à 1. On a songé, pour rétablir l'équilibre, à ajouter de l'acide phosphorique et à réduire les quantités d'eau, mais cette mesure n'est pas pratique et ses avantages ne compenseraient pas ses inconvénients.

Voici enfin quelques chiffres moyens de la composition des eaux de drainage des champs d'épandage de la ville de Berlin :

Composition moyenne de l'eau de drainage pour 100 000 parties (1903).

	ADMINISTRATIONS.					
	OSDORF.	GROSSBEEREN.	SPUTENDORF.	MALCHOW.	FALKENBERG.	BLANKENFELDE.
Nombre des analyses . .	8	4	10	4	8	5
Extrait sec.	203,23	82,00	88,62	112,44	113,19	100,70
Perte au rouge. . . .	17,39	14,46	10,50	12,76	12,18	12,28
Résidu au rouge	185,86	67,54	78,12	99,68	101,01	88,42
Permanganate de potasse	3,77	4,46	2,65	2,97	2,94	2,41
Ammoniaque.	0,13 } 0,20	0,11 } 0,21	0,08 } 0,11	0,19 } 0,24	0,17 } 0,22	0,15 } 0,18
Azote organique en AzH^3	0,07	0,10	0,03	0,05	0,05	0,03
Acide nitreux	0,63	1,34	0,29	0,35	0,28	0,23
Acide nitrique	17,90	13,27	10,25	13,62	13,51	14,85
Acide phosphorique . .	0,03	0,04	0,02	traces	0,03	traces
Acide sulfurique. . . .	16,88	4,41	6,07	14,10	10,29	8,95
Chlore.	66,26	14,91	15,15	20,38	21,97	15,25
Potasse	3,55	2,86	2,28	4,34	2,73	1,83
Soude.	57,86	16,87	13,56	21,46	27,25	12.50
Germes par cc.	4 850	82 620	29 137	2 226	2 207	3 857

Composition moyenne de l'eau de drainage, pour 100000 parties comparée à l'eau brute et avec différentes cultures.

	EAU BRUTE 1902.	EAU DE DRAINAGE (1903).			
		BETTERAVES.	PRAIRIES.	BETTERAVES ET PRAIRIES.	FOSSÉS.
Nombre des analyses	6	19	20	39	30
Extrait sec	102,58	121,44	119,62	120,51	74,49
Perte au rouge	29,57	14,37	11,94	13,12	8,93
Résidu au rouge	73,01	107,07	107,68	107,39	65,54
Permanganate de potasse	37,39	3,16	3,09	3,13	3,91
Ammoniaque	10,23	0,15 } 0,20	0,12 } 0,17	0,14 } 0,19	0,38 } 0,45
Azote organique en AzH^3.		0,05	0,05	0,05	0,07
Acide nitreux	»	0,41	0,51	0,46	0,47
Acide nitrique	»	16,10	11,48	13,73	4,47
Acide phosphorique	2,20	0,01	0,04	0,03	0,01
Acide sulfurique	5,71	»	10,11	10,11	»
Chlore	20,42	23,29	31,61	27,56	14,69
Potasse	6,13	»	2,93	2,93	»
Soude	22,22	»	24,91	24,91	»
Germes par cc.	»	22 271	14 162	18 113	29 893

On voit par les tableaux qui précèdent que la composition de l'eau de drainage est très variable, ce qui s'explique aisément par les différences dans la nature des sols d'épandage. On voit notamment que, pour Grossbeeren, les chiffres relatifs au permanganate, à l'acide nitreux et au nombre de germes par centimètre cube sont peu satisfaisants, très probablement à cause de la légèreté et de la perméabilité du sol. Les autres administrations, situées en terrains plus forts et plus argileux, fournissent une épuration meilleure.

Récoltes. — Les récoltes obtenues en moyenne par hectare, de 1898 à 1902, sur les champs d'épandage de la ville de Berlin ont été les suivantes :

Cultures.	Grains, racines ou graines. kg.	Paille. kg.
Navette d'hiver	1 224,25	2 298,25
Navette d'été	723,25	2 500,00
Moutarde	516,44	1 405,75
Blé d'hiver	1 707,84	3 110,19
Blé d'été	1 527,21	2 816,78
Seigle d'hiver	1 624,32	2 930,93
Orge	1 921,25	3 055,45

Cultures.	Grains, racines ou graines. kg.	Paille. kg.
Avoine	1 420,25	2 180,10
Féverolles	1 114,40	2 317,10
Pois	1 225,35	2 797,66
Betteraves fourragères	31 209,53	»
Carottes	24 652,05	»
Pommes de terre	11 769,05	»
Colza d'hiver	1 535,66	3 378,50
Choux blancs	15 687,00	»
Osier cultivé	14 540,75	»
Lupin	1 111,00	2 381,00
Seigle d'été	867,00	1 650,66
Betteraves à sucre	22 375,60	»

On voit par ce qui précède que le colza fournit des résultats supérieurs à la navette d'hiver, et que celle-ci donne de meilleurs rendements que la navette d'été. Le seigle, qui croît sur des terrains beaucoup plus mauvais que le blé, donne des rendements à peu près égaux. L'avoine, qui est cultivée surtout sur les terres défectueuses, donne une récolte plus faible. Les féverolles, les pois, les betteraves fourragères, les pommes de terre, les betteraves à sucre, les lupins, le seigle d'été, donnent des rendements assez peu satisfaisants.

Si l'on retranche de la recette brute les frais de culture et de récolte, on arrive au produit brut suivant :

	Épandage agricole. Produit brut par hectare en marks
Blé d'hiver	154,58
Blé de printemps	131,20
Seigle d'hiver	144,54
Orge	110,54
Avoine	56,58
Betteraves fourragères	80,74
Pommes de terre	69,32
	Culture ordinaire.
Prairies naturelles	70,99
Seigle d'hiver	112,72
Avoine	108,76
Pommes de terre	60,92

Ces chiffres montrent qu'il y a peu de différence entre la culture ordinaire et l'épandage. Ils sont d'ailleurs très variables suivant les prix de vente et suivant les frais généraux, qui sont assez difficiles à déterminer.

Animaux, bâtiments et matériel. — Les animaux de trait uti-

lisés sur les champs d'épandage sont au nombre total de 1400, qui se répartissent de la façon suivante :

ADMINISTRATIONS	SURFACE hectares.	NOMBRE de chevaux.	NOMBRE de bœufs.	NOMBRE TOTAL 5 bœufs = 2 chevaux.	CHEVAUX PAR HECTARE.	HECTARES POUR 1 CHEVAL.
Osdorf	1 625	84	172	197	0,12	8,25
Grossbeeren	998	58	118	136	0,14	7,35
Sputendorf	1 428	74	140	166	0,12	8,60
Falkenberg	1 459	57	160	164	0,11	8,89
Malchow	1 026	45	125	126	0,12	8,14
Blankenfelde	1 341	50	145	144	0,11	9,31
Buch	918	46	50	79	0,09	11,62
Total	8 795	414	910	1 012	»	»

On peut donc compter qu'il y a en moyenne, sur les champs d'épandage de la ville de Berlin, 1 cheval de trait par 9 à 10 hectares.

Si on examine maintenant les bâtiments qui se trouvent sur les domaines, on trouve les moyennes suivantes, pour toutes les administrations :

	Surface hectares.	Valeur des bâtiments au 1er déc. 1904 marks.	Valeur par hectare des bâtiments marks.
Surface totale.	14 227	7 238 986	508,82
Surface cultivée y compris les terres louées	10 054	7 238 986	720,01
—— cultivée non compris les terres louées.	9 036	7 238 986	801,12

Ces chiffres sont beaucoup trop élevés et ne devraient pas dépasser 500 marks au maximum par hectare de surface cultivée. Ce fait tient à la nécessité de construire des maisons pour les travailleurs, et aux frais de construction qui sont très élevés au voisinage des grandes villes.

L'inventaire du matériel et des animaux, rapporté en bloc à toutes les administrations, donne les chiffres suivants :

SURFACE.	VALEUR DE L'INVENTAIRE.			VALEUR PAR HECTARE.		
	MATÉRIEL.	ANIMAUX.	TOTALE.	MATÉRIEL.	ANIMAUX.	TOTALE.
	marks	marks	marks	marks	marks	marks
Totale.	605 498	837 380	1 442 878	42,55	58,85	101,40
Cultivée, y compris les terres louées.	605 498	837 380	1 442 878	60,22	83,28	143,50
Cultivée, non compris les terres louées	605 498	837 380	1 442 878	69,66	96,34	166,00

Ces chiffres doivent être en général considérés comme trop bas, particulièrement ceux qui sont relatifs au matériel. Ils doivent être normalement à peu près égaux à ceux qui se rapportent aux bâtiments, c'est-à-dire atteindre environ 400 à 500 marks par hectare de surface cultivée.

Main-d'œuvre. — Le tableau suivant résume la main-d'œuvre utilisée par les diverses administrations, exprimée en journées de travail par an.

Administrations.	Journées de travail.		Surface cultivée non compris les terres louées.
—	d'hommes.	de femmes.	
Osdorf.	60 860	39 840	1 625 hectares
Grossbeeren. . . .	48 792	27 514	998 —
Sputendorf.	58 270	15 200	1 428 —
Falkenberg.	61 134	19 518	1 459 —
Malchow.	59 547	26 000	1 026 —
Blankenfelde. . . .	51 795	20 952	1 541 —
Buch	23 600	18 195	918 —
Total.	363 998	167 219	8 795 hectares
Soit par hectare . .	41,39	19,01	»

Ces chiffres ne comprennent pas les surveillants d'épandage et des canalisations. On voit que cette main-d'œuvre est trop élevée : elle se monte en moyenne à 200 marks à l'hectare, tandis qu'on ne dépasse pas 150 marks dans les autres exploitations avec culture intensive. Cette augmentation de la main-d'œuvre est occasionnée par la présence de petites parcelles où on ne peut pas employer les machines, et aussi par le grand travail manuel qu'occasionnent le nivellement des terres, l'enlèvement des boues, la façon des sillons, etc.

Production du lait et industries diverses. — Comme les prix du foin et des betteraves deviennent de plus en plus bas, on a

cherché un remède dans l'engraissement des bestiaux et dans la production du lait. L'engraissement est particulièrement recommandable; il fournit un moyen d'utiliser à la fois les produits et tous les résidus qu'on ne peut vendre; en outre, le fumier peut servir pour les terres non agencées. Mais c'est surtout vers la production du lait que des efforts doivent être tentés. Dans les débuts de l'épandage, des essais furent faits pour déterminer les avantages de l'exploitation laitière aux environs de Berlin; les résultats n'en furent pas satisfaisants. Mais aujourd'hui les conditions sont bien différentes : les produits se vendent moins cher et beaucoup plus difficilement; les institutions telles que les hôpitaux, les asiles, se sont multipliées autour des grandes villes et fournissent un débouché assuré pour le lait; la grande étendue des domaines agricoles permet l'exploitation laitière sur une vaste échelle. Les hôpitaux et asiles paient en effet le lait pur de 16 à 18 pfennig le litre, et le lait écrémé 11 pfennig. Les domaines agricoles de la ville de Berlin peuvent parfaitement fournir le lait à ce prix, et rien que les hôpitaux de la ville en consommeraient journellement 5000 litres. L'administration de Buch est déjà entrée dans cette voie, et tout son lait est très aisément vendu aux asiles d'aliénés et autres institutions voisines.

En dehors de la laiterie, la seule industrie annexée aux domaines agricoles de la ville est la distillerie. Il y a deux distilleries sur les administrations de Buch et de Schmetzdorf, et leurs résultats financiers sont excellents. L'alcool se fait au moyen des pommes de terre, et les vinasses obtenues servent à l'engraissement du bétail. Les avantages offerts par cette industrie et les bons résultats qu'elle donne dans les deux administrations ci-dessus font croire à la possibilité d'étendre ultérieurement la distillerie sur les domaines agricoles de la ville de Berlin.

B. — Les champs d'épandage de la ville de Paris.

Nous aurions voulu pouvoir dresser, comme nous venons de le faire pour *Berlin*, le bilan des résultats obtenus par la ville de Paris sur ses champs d'épandage agricole.

Malheureusement, nous avons cherché en vain à nous procurer les documents nécessaires à cet effet. Ces documents n'existent pas ou, s'ils existent, ils n'ont jamais été publiés, de sorte que les seuls renseignements officiels dont nous puissions faire état sont ceux que l'on trouve dans les rapports de la Commission de surveillance présidée par *M. Laurent-Cély*, et dans les travaux de *M. Paul Vincey*, professeur départemental d'agriculture de la Seine.

Les champs d'épandage de la ville de Paris, créés et progressivement étendus depuis les premières expériences d'irrigation faites à Clichy, puis à Gennevilliers en 1868, par *A. Mille* et *Durand-Claye*, sous la direction de *Belgrand*, à la suite de la mission d'études confiée à *A. Mille* [1], comprenaient, en 1905, 5505 hectares, dont 3740 hectares de cultures libres et 1765 hectares de domaines municipaux.

Presque toutes ces terres sont constituées par des sables argileux, assez uniformément perméables.

Sur cette surface totale, on avait distribué, en 1902, 226 544 409 mètres cubes d'eau d'égout, soit en moyenne 42 744 mètres cubes par hectare, et en 1903, 223 041 563 mètres cubes, soit en moyenne 42 083 mètres cubes par hectare. Ces volumes sont voisins de la dose maxima de 40 000 mètres cubes par hectare et par an, autorisée par les lois des 4 avril 1889 et 10 juillet 1894, et par le décret du 11 avril 1896.

En 1904, les 905 hectares de *Gennevilliers* ont reçu 41 689 361 mètres cubes, soit 46 065 mètres cubes par hectare

Les 1500 hectares d'*Achères* ont reçu 57 850 522 mètres cubes, soit 38 567 mètres cubes par hectare.

Les 2150 hectares de *Méry-Pierrelaye* ont reçu 74 858 805 mètres cubes, soit 34 818 mètres cubes par hectare.

Les 950 hectares de *Carrières-Triel* ont enfin reçu 41 568 540 mètres cubes, soit 43 756 mètres cubes par hectare.

Pendant cette même année, le volume total d'eaux d'égout débité par les collecteurs parisiens fut de 268 597 561 mètres cubes, dont 215 967 228 mètres cubes ont été refoulés par les pompes sur les champs d'irrigation, et 51 509 828 mètres

[1] *L'assainissement des villes par l'eau, les égouts, les irrigations*, par A. Mille. Dunod, édit., Paris, 1886.

cubes (soit 141 670 mètres cubes par jour) ont été déversés directement en Seine soit à Clichy, soit à la porte de la Chapelle.

L'irrigation se fait sur les champs d'épandage par la méthode dite d'*infiltration*. L'eau d'égout est amenée aux divers réseaux par les *émissaires*, grosses canalisations d'où part toute une série de conduites en circuit fermé ou ramifié.

Le réseau partiel de chaque section se compose d'une conduite principale sur laquelle s'embranchent normalement, de part et d'autre, à des intervalles variables (400 mètres pour Achères), les conduites de service.

La distribution de l'eau s'effectue au moyen de *bouches* placées au-dessus ou au niveau du sol et branchées directement sur les conduites. Chacune de ces bouches dessert environ 3 à 4 hectares.

L'eau y est amenée dans des rigoles assez profondes entre

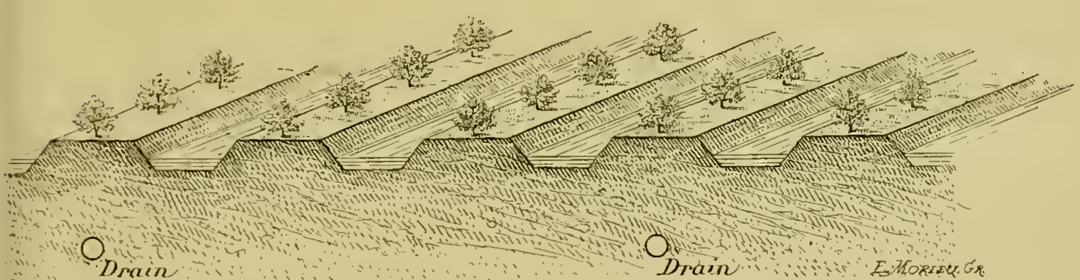


Fig. 39. — Méthode d'irrigation agricole par déversement intermittent des eaux d'égout entre *billons*.

lesquelles sont dressés les billons ou planches de culture (*fig.* 39), et les déversements s'y font par *intermittences*, celles-ci étant indispensables à la nitrification de la matière organique. Ces intermittences se répètent à des intervalles variables, suivant les besoins de la végétation dans la culture libre, et suivant les nécessités de l'épuration dans les domaines municipaux.

D'après *M. Bechmann*, qui a dirigé pendant de longues années les services d'assainissement de la ville de Paris, « le passage répété des eaux d'égout dans les rigoles, et l'infiltration qui s'y produit par le fond et par les côtés, ont pour conséquence la formation rapide d'un dépôt de matières solides sur les

parois. Tant que ce dépôt est assez mince, il se fendille entre deux épandages, se détache en lamelles et ne s'oppose point à la pénétration de l'eau; mais lorsque, par la superposition de nombreuses couches successives, il acquiert une épaisseur un peu grande, sa perméabilité diminue, s'annule même, et l'eau ne filtre plus dans les terres. Il faut alors rafraîchir les surfaces de contact, soit en curant les rigoles et rejetant le produit du curage sur les planches intermédiaires, soit en les déplaçant à la bêche ou à la charrue; dans l'un et l'autre cas, les dépôts sont incorporés à la terre à titre de supplément d'engrais; les substances organiques qu'ils contiennent ne tardent pas à y être transformées, et les matières minérales tendent à modifier peu à peu la composition originaire du sol arable, qui se recouvre de la sorte d'une couche d'humus, dont l'épaisseur croît d'ailleurs très lentement. »

Dans les cultures libres de *Gennevilliers*, l'irrigation porte en moyenne chaque jour sur un neuvième de la surface totale irrigable, c'est-à-dire que le même sol cultivé reçoit *tous les neuf jours* une ration d'eau d'égout. Chaque hectare reçoit donc environ 1000 mètres cubes, soit une nappe de $0^{m},10$ de hauteur d'eau d'égout à chaque irrigation, et celle-ci est répétée 40 fois par an. Elle dure en moyenne 6 heures et la terre reste en état d'aération pendant un temps 36 fois plus considérable, soit 216 heures.

Il est bien évident qu'il ne s'agit là que de chiffres moyens, très variables d'ailleurs avec les diverses cultures. Les prairies, par exemple, peuvent être irriguées tous les deux jours, alors que les asperges ne doivent l'être que trois fois par an!

Dans les domaines municipaux, la culture est entièrement subordonnée aux nécessités de l'épuration, de sorte que l'irrigation culturale n'y pourrait être poursuivie utilement qu'à la condition d'y organiser un système d'assolement rationnel permettant d'absorber en tous temps la quantité maxima d'eau d'égout.

Or, comme le fait remarquer *M. Vincey* (1), « jamais le service de l'assainissement n'a su, voulu, ni pu condescendre à l'adoption d'assolements appropriés aux besoins primordiaux

(1) P. Vincey. Épuration terrienne des eaux d'égout de la Ville de Paris, *Soc. nat. d'Agriculture*, Paris, 1904, p. 59.

de l'épuration, et encore moins à les recommander ou à les imposer à ses concessionnaires des domaines municipaux! »

On ne saurait, à vrai dire, lui en faire un reproche; c'est plutôt la faute de l'administration, qui a commis une grave erreur en confiant la direction des champs d'épandage, au point de vue de leur exploitation agricole, à des ingénieurs des ponts et chaussées, forcément peu compétents en agriculture. *Mille*, *Durand-Claye*, *Bechmann*, *Launay* et leurs successeurs ont incontestablement droit à toute notre admiration et à toute notre reconnaissance pour les magnifiques travaux d'art sanitaire dont ils ont doté la ville de Paris, mais il eût fallu ne point leur demander de s'improviser cultivateurs et placer à côté d'eux un comité de direction composé non seulement d'hommes rompus aux difficultés de la pratique agricole, mais aussi de chimistes et de bactériologistes qui pussent être leurs collaborateurs permanents.

C'eût été le seul moyen de concilier à la fois les intérêts de l'*assainissement de la Seine* avec ceux de la *culture*, et avec la *nécessité de protéger efficacement les nappes d'eau souterraines contre les pollutions accidentelles*, dont les effets immédiats ou éloignés peuvent présenter les plus grands dangers pour la santé publique.

Si l'on entre dans le détail des régions, des saisons, et si l'on tient compte de la nature libre ou domaniale de la culture, on est effrayé de constater les incohérences les plus invraisemblables qui contrastent étrangement avec la méthode scientifique adoptée à Berlin pour l'exploitation des champs d'épandage.

Par exemple, pour la région de Méry-Pierrelaye, près de la moitié du territoire consacré à la culture libre portait, en 1903, soit des cultures d'*asperges*, soit des *bois*, qui n'utilisent presque pas d'eau d'égout. Pour les cultures domaniales, on voit également que les assolements choisis ne répondent en aucune manière aux besoins de l'épandage. Pour le printemps notamment, la possibilité d'irrigation culturale est absolument insuffisante. Il en est résulté des déversements abusifs qui ont eu des effets désastreux, aussi bien pour la culture que pour l'épuration.

Ces faits regrettables peuvent-ils être évités par l'adoption,

dans les domaines municipaux, d'assolements convenables, et peut-on établir des assolements capables de satisfaire à la fois l'épuration et la culture?

M. Vincey répond affirmativement, et sa grande compétence nous oblige à le croire. Pour le domaine de *Méry-Pierrelaye*, en supprimant complètement les céréales, en diminuant les pommes de terre hâtives et en portant les prairies à 200 hectares sur 560, soit 54 pour 100 de la totalité, *M. Vincey* démontre, en tenant compte des besoins spéciaux de chaque culture à chaque époque de l'année, que l'ensemble du domaine présente alors une uniformité assez grande dans les besoins d'eau suivant les saisons. Au printemps, la prairie utilise à elle seule la presque totalité de l'eau que le domaine peut recevoir.

En faisant subir à l'assolement des cultures libres d'autres modifications (suppression totale des céréales, diminution notable des asperges et des pommes de terre, élévation des prairies à 32 pour 100 de la culture), on arriverait, sans inconvénients, à faire absorber au sol même les quantités abusives employées actuellement, la possibilité d'irrigation étant toujours supérieure à la dose légale.

Pour ces cultures libres, l'administration ne peut guère user que de persuasion. Mais pour les domaines municipaux, il lui serait facile d'adopter des assolements capables de compléter en toutes saisons l'insuffisance des cultures libres au point de vue de l'épuration.

Avec l'étendue actuelle et la nature éminemment favorable des terrains, les champs d'épandage de la Ville sont, d'après *M. Vincey*, suffisants pour assurer en tout temps la parfaite épuration culturale des 775 000 mètres cubes d'eau qui doivent journellement aboutir aux collecteurs d'égouts. Mais au lieu de récoltes qui ne répondent qu'à des intérêts privés (fort mal compris d'ailleurs), il faudrait pratiquer, dans les domaines administratifs tout au moins, des cultures qui cadrent avec les nécessités de l'assainissement, et adopter des assolements dont la possibilité d'irrigation épuratrice et culturale soit correspondante en tous temps aux besoins généraux. En portant à 1500 hectares la totalité des prairies, on pourrait y épandre au printemps 375 000 mètres cubes d'eau d'égout, à

cause de la grande capacité épuratrice de cette culture. Les 4000 autres hectares pourraient être soumis à des cultures capables de supporter la dose de 100 mètres cubes par hectare et par jour, ce qui correspond à peu près à la dose légale.

En Allemagne, la pratique a démontré que la dose convenable d'irrigation à l'eau d'égout, sur les sables fins des environs de Berlin, pour l'épuration et la culture, n'est que de 12 à 15 000 mètres cubes par hectare et par an. En France, l'expérience de Gennevilliers avait permis d'admettre la dose de 40 000 mètres cubes.

Étant donnée la nature des terrains dont dispose la ville de Paris, ce chiffre eût certainement pu encore être dépassé dans une proportion très notable si l'exploitation agricole des champs d'épandage eût été plus scientifiquement conduite.

Devant les difficultés de concilier les besoins de l'épuration avec les intérêts de la culture libre, on est en droit de se demander si cette dernière a sa raison d'exister. Les fermiers ou maraîchers ayant à leur disposition la manœuvre des bouches d'irrigation, il est clair qu'ils se gardent bien d'irriguer lorsque l'état de la culture ne le permet pas, ou pendant la nuit. De sorte que la ville de Paris, qui expédie chaque jour environ 600 000 mètres cubes d'eau d'égout vers les champs d'épandage, ne peut pas dire quel est exactement le volume *utilisé* et *épuré*.

On peut évidemment déterminer avec exactitude la quantité d'eau d'égout envoyée journellement aux champs d'épandage en se basant sur le nombre de tours des machines; mais on n'a aucun moyen de se renseigner sur le volume *réellement* employé en irrigation.

Les fermiers prennent ce qui leur est nécessaire, et le surplus, sans épuration, est nécessairement rejeté à la Seine.

Pour dissimuler cette situation fâcheuse, on a créé des « *zones régulatrices* », vastes marais d'eau d'égout de plusieurs hectares, et l'on a soumis de grandes surfaces de prairie à l'irrigation intensive. Mais ces mesures, si préjudiciables à la mise en valeur des terrains, sont encore très insuffisantes, surtout au printemps, de sorte qu'à cette époque de l'année les déversements d'eau non épurée en Seine dépassent la proportion de 35 pour 100 du volume total.

Il en résulte que le degré d'épuration des eaux sortant des drains des champs d'épandage, que M. Vincey dit être de 99,9 pour 100, n'est plus qu'un trompe-l'œil : en effet, si l'on tient compte des 35 pour 100 d'eau non épurée déversée en Seine, le taux d'épuration moyen descend à 65 pour 100 !

En 1904, par exemple, le fleuve a reçu par déversement direct, tant à Clichy qu'à la Chapelle, 141 670 mètres cubes *d'eau non épurée chaque jour*, en moyenne annuelle (dont 90 986 mètres cubes pour les eaux d'égout parisiennes seules, et 50 684 mètres cubes pour les eaux de la banlieue), contre 591 965 mètres cubes envoyés aux champs d'épandage, soit 23,9 pour 100.

Par conséquent, les centaines de millions dépensés depuis 1868 pour l'achat, la mise en état et l'entretien des champs d'épandage, n'ont permis jusqu'à présent d'atténuer la pollution de la Seine que dans une proportion tout à fait insuffisante.

*
* *

I. **Résultats chimiques et bactériologiques de l'épandage parisien.** — Au point de vue chimique, il est indéniable que l'irrigation culturale sur les terrains d'épandage parisien donne, *en général*, des résultats satisfaisants, sauf dans les circonstances exceptionnelles où des fautes ont été commises, ou lors des accidents survenus aux canalisations. La nitrification est à peu près partout très active, principalement à Gennevilliers, dans les champs de culture libre, où les déversements sont mesurés par les fermiers suivant l'état du sol et celui des cultures. On peut s'en rendre compte par le tableau ci après, tiré des *Annales de l'observatoire municipal de Montsouris* (4 août 1905) :

	Moyennes générales (en milligrammes par litre).				
	Matière organique.	Azote			Résidu sec à 180°.
Eaux d'égout :	—	nitrique.	ammoniacal.	organique.	—
Bassin de dégrossissage de Clichy.	43,3	0,3	22,0	2,4	520
Eaux de drainage :					
Drains de Gennevilliers.	1,025	31,1	0,0	»	1 022
— Achères.	1,750	17,9	0,475	»	818
— Méry-Pierrelaye. .	0,817	14,23	0,0	»	685
— Carrières-Triel . .	1,240	26,24	0,0	»	874

Par contre, au point de vue bactériologique, l'épuration est beaucoup moins régulière.

La numération des germes contenus dans l'eau des différents drains ne fournit d'indications utiles que pour le drain dans lequel le prélèvement a été effectué.

Il n'est possible d'en faire état que lorsqu'on veut se rendre compte de la marche de l'épuration dans tel ou tel secteur.

L'épuration peut être parfaite en un point déterminé du champ d'épandage et très défectueuse à quelques mètres plus loin. Bien plus, en un même endroit, le chiffre des bactéries peut varier considérablement d'un jour à l'autre.

En voici quelques exemples :

Au drain de *la Bonne ville* (*Méry-Pierrelaye*), le Dr *Miquel*, chef du service micrographique du laboratoire de Montsouris, trouvait, le 10 janvier 1902, 200 bactéries par *centimètre cube*, et du 10 au 31 du même mois, une moyenne journalière de 216. Tout à coup, le 7 février, il en compte 39785. Le 14, il n'en passe plus que 145, et le régime normal se rétablit jusqu'au 7 mars. A cette date, l'analyse accuse 161780 *germes par centimètre cube!*

A la même époque, l'eau d'un puits voisin (puits *Loraint*, à *la Bonne ville*) contenait habituellement de 1100 à 2700 germes par centimètre cube. Le 19 février elle en renferme 22040!

Cette région de *Méry-Pierrelaye* montre avec évidence combien est variable la puissance épurante des différentes parcelles. Pendant le 1er trimestre 1902, on relève dans l'eau de ses différents drains les moyennes générales suivantes, au point de vue de la teneur en bactéries :

Drain de *Méry*	1355	Moyenne, 3690 bactéries par centimètre cube.
— de *la Bonne-ville*	16970	
— d'*Epluches*	595	
— de *Courcelles*	2430	
— de la *Chaussée Jules-César*	230	
— de la *Ruelle Darras*	560	

A *Carrières-Triel* des faits identiques se présentent.

Le drain de *Saint-Blaise* donne 3744 bactéries le 4 octobre 1901, et il n'en fournit plus que 60 le 11 octobre, 32 le 29 novembre, 12 le 6 décembre, 264 le 27 décembre.

Le drain de *Carrières*, dont la teneur moyenne est de

200 *germes*, en accuse 2829 le 15 novembre et 5281 le 15 décembre!

Les moyennes fournies par les différents drains de toute la presqu'île de *Carrières*, pendant le quatrième trimestre de cette année 1901, étaient les suivantes :

Drains de l'Est . .	*Saint-Blaise* . .	325 bact. par cc.	Moyenne 340
	Carrières. . . .	780 —	
	Goupil.	275 —	
	Chautemps . . .	300 —	
	Denouval. . . .	17 —	
Drains du Sud . .	*Saint-Louis*. . .	8 165 —	Moyenne 7 720
	Beauregard. . .	7 275 —	
Drains de l'Ouest.	*Gilbertes*	450 300 —	Moyenne 221 910
	Côtes Berthelius	211 145 —	
	Triel.	4 280 —	

On voit donc combien sont variables les effets de l'épuration par l'épandage sur les parcelles d'un même territoire!

De sorte que, pour bien juger les effets de l'irrigation agricole au point de vue de l'assainissement de la Seine, le seul procédé vraiment exact dont nous puissions disposer consiste à rechercher la teneur en bactéries des eaux du fleuve en divers endroits de son parcours, *en amont* et *en aval* des points de déversement des drains et des eaux d'égout non épurées.

Or, à cet égard, voici ce que nous enseignent les *Annales de l'observatoire de Montsouris* (t. V, fasc. 3, p. 288) :

Teneur en bactéries, par centimètre cube, des eaux de la Seine, pendant le 3e trimestre 1904.

A *Choisy-le-Roi*	150 000	bact. par cc.
Au *Pont-Royal*	119 460	—
Au *Point-du-Jour*	293 220	—
Au *Pont de Saint-Ouen* (après les déversements de Clichy).	900 000	—
A *Argenteuil* (après les drains de Gennevilliers.	10 145 000	—
Au *Pont de Conflans* (après les drains d'Achères)	61 560 000	—

Plus loin, après le confluent de l'*Oise*, l'auto-épuration s'effectue très vite et, à *Mantes*, la teneur en germes redevient à peu près ce qu'elle était *en amont de Paris*.

Rien, mieux que les chiffres qui précèdent, ne peut nous fixer sur les imperfections de l'épandage agricole, et rien ne peut mieux nous faire comprendre que si ce système est parfaitement capable de donner d'excellents résultats sur des surfaces réduites, perméables et homogènes, convenablement drainées et bien surveillées, ou sur de vastes espaces, à la condition de n'épandre que des eaux très diluées comme dans les « *Marcites* » de *Milan*, ou les « *huertas* » de Valence, ce serait une grave erreur de compter sur son efficacité pour épurer *régulièrement*, chaque jour, un volume de près de 800 000 mètres cubes d'eau d'égout, et pour assainir la Seine!

II. **Résultats économiques.** — Les procédés de gestion financière des domaines municipaux ne permettent pas d'établir, comme nous l'avons fait pour *Berlin*, le bilan des recettes brutes et des dépenses de culture des champs d'épandage parisiens. Nous ignorons quelle est la valeur des frais de main-d'œuvre et celle des produits récoltés, de sorte qu'il n'est pas possible de savoir ce que coûte en somme, à la Ville, le travail d'épuration.

Les seuls renseignements que nous avons pu nous procurer sont relatifs à la valeur comparée des terres avant et après l'irrigation.

Sans faire entrer en ligne de compte les travaux d'amenée des eaux d'égout jusqu'aux champs d'épandage et les dépenses énormes qu'ils ont nécessitées (machines, aqueducs, canalisations, travaux d'art, etc.), il est tout au moins intéressant de savoir quelle plus-value en est résultée pour les terrains exploités par la culture libre.

A *Gennevilliers*, les fermiers usent *librement* et *gratuitement* des eaux d'égout. La Ville n'en retire aucune rémunération. Au point de vue financier, elle a donc fait une opération désastreuse, car l'accroissement de la valeur des terrains susceptibles d'être irrigués par les eaux d'égout profite uniquement aux propriétaires. Les parcelles qui se louaient autrefois 90 et 100 francs l'hectare atteignent couramment aujourd'hui 400 et 500 francs. La valeur du fond s'élève à 10 et même 15 000 francs l'hectare.

Dans les domaines municipaux, la Ville reçoit, il est vrai, le

produit de la location, mais celui-ci est loin d'être en rapport avec les dépenses effectuées.

A *Achères*, on louait jadis les bons terrains de 90 à 100 francs l'hectare; les moyens 70 francs, et les mauvais, sableux, 20 francs. Avec l'irrigation, tous se louent indifféremment de 130 à 150 francs.

Les bons terrains se vendaient jadis de 4 à 5000 francs l'hectare; les moyens 2500 à 3000 et les mauvais 1000 francs. Ils se vendent aujourd'hui de 4 à 6000 francs.

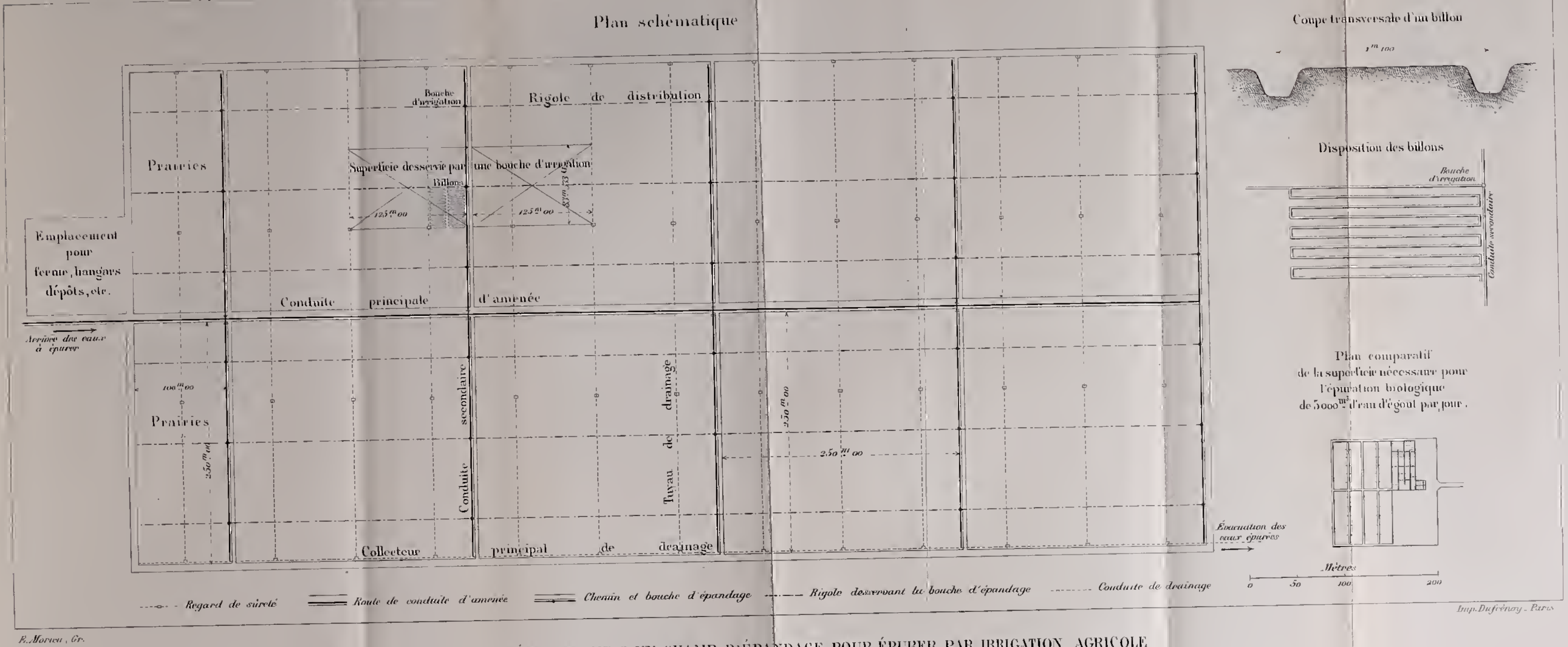
Dans la région de *Triel*, les terrains sableux se louaient avant l'irrigation 35 francs l'hectare et ils se vendaient 1500 francs. Aujourd'hui, ils se louent 150 francs et se vendent 5000 francs.

La Ville a loué à *Achères* environ 800 hectares de terres cultivables pour une période de douze années, de 1901 à 1913. Le prix de location a été établi par périodes de quatre en quatre années, à raison d'environ 40 francs par hectare pour la première période, de 45 à 47 francs pour la seconde et de 60 francs pour la troisième. Si nous prenons le chiffre moyen de 50 francs, nous voyons que les recettes brutes à provenir de cette location s'élèvent à $800 \times 50 = 40\,000$ francs. Encore y a-t-il lieu d'en déduire les frais généraux d'entretien des canalisations, des vannes, des routes et chemins, qui restent à la charge du service d'assainissement.

Le résultat financier est donc aussi déplorable pour les domaines municipaux que pour la culture libre.

Le seul profit réalisé pour la Ville résulte de l'accroissement de la valeur de son domaine. Mais cet accroissement n'a pu être obtenu que moyennant des dépenses très importantes d'aménagement des terres et des frais d'exploitation, relativement lourds.

« La culture à l'eau d'égout, écrit M. *Bechmann*, suppose en effet le règlement soigné des surfaces, qui implique parfois des terrassements considérables, puis la confection d'un réseau de rigoles, l'établissement d'un drainage. Si l'on ajoute à ces travaux d'appropriation du terrain ceux qui sont nécessaires pour l'amenée et la distribution de l'eau, conduites forcées, rigoles en terre ou à revêtement maçonné, bouches, ventelles, etc., il n'est pas rare d'arriver à un total qui s'élève



PLAN D'AMÉNAGEMENT D'UN CHAMP D'ÉPANDAGE POUR ÉPURER PAR IRRIGATION AGRICOLE 5000 MÈTRES CUBES D'EAU D'ÉGOUT PAR JOUR.

à 1000, 1500, 2000 francs l'hectare et plus. L'acquisition même du terrain revient quelquefois assez cher parce que les propriétaires escomptent, par avance, la plus value qu'on attend de l'irrigation et entendent en bénéficier [1] ».

En réalité, si nous avions à établir le devis d'installation d'un champ d'épandage pour épurer, par exemple, 5000 mètres cubes par jour, comme nous avons établi le devis d'une installation d'épuration biologique de même importance (voir page 61) voici les chiffres approximatifs sur lesquels nous devrions tabler :

Devis approximatif des frais d'installation d'un champ d'épandage pour épurer 5000 *mètres cubes d'eau d'égout par jour* (conformément au plan ci-joint, voir planche IV).

1° *Terrain :*

Surface utile pour l'épandage sur la base de 110 m³ par hectare et par jour (40 000 m³ *par hectare et par an*). 50 hectares ou	500 000 m²
Route centrale de 10 m. de largeur = 1200 × 10	12 000 m²
Chemins de pourtour, de 6 m., soit 3 300 × 6. . .	19 800 m²
Chemins de service, de 4 m., soit 2100 × 4. . . .	8 400 m²
Réserve en prairies	50 000 m²
Ferme, hangars, dépôts et divers	10 000 m²
Total.	600 200 m²

(Soit, au total, environ 80 % en plus de la surface utilisable).

Prix d'achat du terrain à raison de 3 000 fr. l'hectare.	180 000 fr.

2° *Préparation du sol en vue de l'utilisation culturale :*

Déplacements de terres, nivelage des surfaces pour l'irrigation, environ 1000 fr. l'hectare, pour 55 hectares.	55 000 fr.

3° *Drainage :*

Collecteur principal en 300 mm. de diamètre, y compris fouilles et remblais, 1100 m. à 12 fr. le mètre.	13 200 fr.
Tuyaux de drainage secondaires en 200 mm., y compris fouilles et remblais, 6 500 m. à 8 fr. . .	52 000 fr.
Regards de nettoyage des drains, maçonnerie et couverture. 52 × 120 fr..	6 240 fr.

4° *Routes et empierrements :*

Route centrale de 10 m. de largeur, empierrement sur $6^{m},50$ de largeur, nivellement, préparation de la forme cailloux, 1200 m. × 6,50 = 7 800 m² à $5^{fr},50$	42 900 fr.
A reporter.	349 340 fr.

[1] Bechmann, *Distributions d'eau et assainissement*, Ch. Béranger, éditeur, Paris, 1899.

Report	349 340 fr.
Chemins de pourtour de 6 m. de largeur, comme ci-dessus. 3300 m. × 3000 = 9 900 m² à $5^{fr},50$ . .	54 450 fr.
Chemins transversaux de culture, sans empierrement, mais nivelés, 4 m. de largeur 2 100 m. × 4 = 8 400 m. à $0^{fr},25$	2 100 fr.
5° *Conduites et appareils d'irrigation :*	
Conduite principale d'amenée en ciment armé de 400 mm. de diamètre, y compris. bagues, tranchées et remblais. 1200 m. à $22^{fr},50$.	27 000 fr.
Conduites secondaires en ciment armé de 300 mm. de diamètre comme ci-dessus. 2 500 à 17 fr. . .	42 500 fr.
10 vannes de 300 mm. pour arrêts, joints et pose, à 300 fr..	3 000 fr.
30 bouches d'irrigation de 250 mm. 30 à 200 fr.. .	6 000 fr.
30 puisards circulaires en maçonnerie avec accessoires, vannes en bois et chassis, à 80 fr. . . .	2 400 fr.
Rigoles de distribution communiquant avec les puisards des bouches d'irrigation. 6 600 m. à 1 fr.	6 600 fr.
Traversées en tuyaux de 300 mm., sous les chemins de service. 24 × 4 m. = 96 m. y compris terrassements et raccordements : 96 m. à 17 fr.	1 632 fr.
Fossés pour eaux pluviales sur route centrale 2 400 m. à 1 fr..	2 400 fr.
Fossés pour eaux pluviales sur les chemins de pourtour. 6 600 m. à $0^{fr},50$.	3 300 fr.
Travaux divers évalués à.	4 378 fr.
Total.	505 100 fr.

Ce devis ne comprend *aucun travail relatif à la ferme* : les eaux sont supposées amenées à l'entrée du terrain d'épandage. Il en est de même des eaux sortant des drains, qui sont conduites jusqu'à la sortie de ce même terrain.

Il faudrait y ajouter les dépenses de défrichements et celles relatives à la confection des billons.

Si nous comparons les frais de premier établissement qui précèdent à ceux que nous avons très largement prévus pour une installation d'épuration biologique de même puissance, nous voyons :

D'une part, qu'une surface 50 *fois moindre*, soit 12 000 mètres carrés, est amplement suffisante pour cette dernière, au lieu des 600 200 mètres carrés indispensables pour l'épandage agricole (plan comparatif en bas et à droite de la planche IV); d'autre part, que les dépenses de construction des fosses septiques et des lits bactériens, d'aménagement des chemins et d'appareillage s'élèvent au maximum à 168 000 francs au lieu

de 505 100 francs; et alors que l'ensemble de ces frais (pour le premier établissement) ressort à 33 *fr.* 60 par mètre cube *d'eau à épurer* par le système biologique, ce même ensemble de frais atteint 101 francs *par mètre cube* avec l'épandage!

C. — Avantages de l'épuration biologique sur l'irrigation culturale.

Nous venons de voir qu'au point de vue économique il est incontestable que l'épuration biologique est considérablement moins coûteuse que l'irrigation culturale; mais il importe de nous demander si la première ne comporte pas encore d'autres avantages qui justifient la préférence dont elle est aujourd'hui l'objet dans un si grand nombre de villes étrangères.

En Angleterre, le nombre des villes qui avaient adopté l'irrigation culturale était, en 1881, de 134. Or, presque toutes l'ont successivement abandonnée.

Partout où elle était instituée, on a éprouvé de cruels déboires. Tantôt le sol, trop perméable, se laissait traverser trop rapidement par l'eau d'égout, et celle-ci ne se purifiait qu'insuffisamment. Tantôt on avait affaire à des terrains trop compacts qui restaient humides et marécageux, ou à des terrains calcaires semés de crevasses et de fissures par lesquelles l'eau d'égout, non épurée, s'échappait au loin.

On a constaté, d'autre part, qu'à la longue, les meilleurs champs d'épandage se colmatent à ce point qu'on est obligé de les laisser au repos pendant plusieurs années avant de les remettre en service. Par suite de l'accumulation des débris cellulosiques de papier, de paille, de coton, etc., le sol prend l'aspect de papier mâché et il perd peu à peu son pouvoir filtrant. Les savons et les graisses finissent aussi par diminuer sa porosité. La culture y est toujours très difficile et coûteuse.

L'irrigation a encore l'inconvénient très grave de refroidir le sol par évaporation, comme un vêtement humide refroidit celui qui le porte ou comme une maison humide refroidit ses habitants. Il en résulte un retard considérable dans la maturité des récoltes. A Gennevilliers, par exemple, où se font

de très importantes cultures de légumes, la maturité est retardée au point que ces légumes n'arrivent aux Halles qu'en arrière-saison, alors que le marché est déjà encombré. Les prix de vente s'en trouvent très amoindris.

En outre, la majeure partie des nitrates qui proviennent de la décomposition des matières azotées est entraînée, au fur et à mesure de sa formation, vers les couches profondes, hors de la portée des racines, et de là vers les fissures souterraines ou vers les drains. Une très faible proportion de ces nitrates peut donc être réellement utilisée. *Frankland*, qui a beaucoup étudié cette question, admet que la moitié au moins de l'azote combiné, distribué sur un champ d'épandage, est ainsi perdue pour la culture.

Si nous envisageons maintenant la valeur de l'épandage au point de vue sanitaire, les motifs de le rejeter se pressent en foule.

Percy Frankland lui-même, qui en était jadis un enthousiaste partisan, faisait l'honnête déclaration que voici, dans une conférence lue à la Société des Arts de Londres, le 13 mars 1884 : « Il y a de fortes raisons de penser que ce procédé d'épuration n'offre aucune garantie que les matières organiques nuisibles soient sûrement éliminées de l'effluent; à Stuttgart et à Wintherthur (Suisse) il a été prouvé que des épidémies de fièvre typhoïde ont été causées par la contamination des eaux alimentaires par l'effluent de champs d'irrigations. »

Passons sur l'objection tirée des odeurs que dégagent les terrains d'épandage. Ces odeurs ne jouent aucun rôle dans la propagation des maladies. Personne ne contestera cependant qu'elles soient pour le moins désagréables, et si l'on veut s'en convaincre, il suffit d'aller faire une petite excursion, par un beau soir calme d'automne, dans les *jardins* de *Gennevilliers*.

Le danger de propagation des microbes infectieux et des œufs ou des larves de parasites par les mouches est autrement grave. Pour ce qui concerne la fièvre typhoïde et le bacille tuberculeux, la preuve en est faite depuis longtemps! (*Musehold*) (1). Pour ce qui concerne le choléra, tout récemment encore le professeur *Chantemesse* et le Dr *Borel* atti-

(1) Dr P. Musehold, *Arbeiten aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamte*, Bd. XVII, Heft, 1, 1900.

raient l'attention du monde savant sur le rôle des mouches comme véhicules du microbe.

Il y a plus de vingt ans, *Grassi* avait démontré que ces mêmes insectes sont capables de transporter à de grandes distances, avec leurs pattes, des œufs de *trichocéphales*, de *tænias* et d'*oxyures*.

Or, pendant les mois d'été, les mouches abondent dans les champs d'épandage, surtout autour des canaux de distribution qui charrient l'eau d'égout à ciel ouvert. Elles y trouvent une nourriture copieuse et toutes les conditions favorables à l'éclosion de leurs larves. Et il n'existe aucun moyen de les faire disparaître.

La question de savoir si l'absorption de légumes cultivés dans l'eau d'égout est exempte de dangers est sûrement résolue par la négative. Les expériences récentes de *Wurtz* et *Bourges*, exécutées sur la demande du *Comité consultatif d'hygiène* et publiées en 1901, sont très démonstratives à cet égard. Elles prouvent avec évidence que les microbes pathogènes tels que la *bactéridie du charbon*, le *bacille tuberculeux* et le *vibrion cholérique*, déposés accidentellement à la surface de la terre ou même enfouis à une certaine profondeur, sont entraînés lors du développement des plantes qui y poussent, et se retrouvent sur les feuilles et le long des tiges.

Dans leur rapport, ces auteurs concluent qu' « au point de vue pratique, bien que, dans les champs d'épandage, les eaux d'égout ne soient pas, théoriquement du moins, répandues en nappe à la surface des terres cultivées, mais les baignent en s'écoulant le long des canaux d'irrigation, il semble qu'il y a lieu de mettre en suspicion les végétaux qui doivent se consommer à l'état cru et d'en interdire la culture, car ils peuvent être contaminés par des eaux d'égout chargées de matières fécales contenant fréquemment des microbes pathogènes pour l'homme ».

La même conclusion s'impose en ce qui concerne l'alimentation des vaches laitières avec des fourrages cultivés sur les champs d'épandage. Dans un travail intitulé : *Milk in health and disease*, et qui date de 1886, *Smee* junior a publié les résultats d'expériences très rigoureuses faites par lui à ce sujet; une vache *a* a été nourrie avec du ray-grass de prairie

irriguée, et, pendant le même temps, une autre vache *b* était alimentée avec du ray-grass de prairie ordinaire. Le lait produit par chacune de ces vaches fut recueilli séparément et examiné. Or, le lait de la vache *a* devint aigre, puis putride, beaucoup plus rapidement que celui de la vache *b*. On remarqua qu'un chat, familier de la maison et très friand de lait, refusa entièrement celui de la vache *a*. Le beurre fabriqué avec ce même lait avait mauvais goût et devint très rapidement rance, et la crème, dans trois essais successifs, n'avait pu être barattée qu'en 1 heure 1/2 à 2 heures 1/2. La crème de la vache *b* n'exigeait que 35 minutes à 3/4 d'heure de barattage; le beurre obtenu était ferme et d'un goût parfait.

On pouvait objecter que l'expérience de la vache *a* portait sur un animal en mauvais état de santé plutôt que sur les effets de la nourriture. Pour lever ce doute, *Smee* renversa les rôles, nourrissant la vache *b* du ray-grass du champ d'épandage, et la vache *a* du ray-grass de prairie normale. Il recommença la même série d'essais avec d'autres vaches : les résultats furent toujours les mêmes.

Connaissant ces faits, on ne saurait souscrire sans restrictions à la proposition de *M. Vincey* d'organiser dans les vastes terrains d'irrigation de la ville de Paris des fermes productrices du lait nécessaire à la consommation des malades des hôpitaux de l'Assistance publique; tandis qu'il n'y aurait aucun inconvénient à créer ces fermes en les irriguant *avec les eaux préalablement épurées par la méthode biologique.*

Il est évident, d'autre part, que l'épandage agricole ne solutionne pas dans un sens avantageux la question des boues. Il suffit, pour s'en convaincre, d'aller voir ce qui se passe à Clichy, au débouché du grand collecteur où, dans un vaste bassin de dépôt, s'accumulent des masses énormes de boues que les dragues mécaniques enlèvent et déversent dans des chalands pour les transporter en Seine ou les déposer sur les berges du fleuve. Toutes ces boues, pas plus que celles que l'on drague dans les égouts collecteurs eux-mêmes, ne vont sur les champs d'épandage et on a raison de ne pas les y envoyer, car elles les rendraient promptement inutilisables. Leur enlèvement exige d'énormes dépenses de main-d'œuvre dont il faut bien tenir compte.

Avec l'épuration biologique, une proportion considérable de ces boues disparaît par solubilisation dans les fosses septiques : cette proportion s'élève à 50 %, parfois à 60 % avec le système d'égout séparatif, et à 30 % au moins avec le système unitaire (Manchester, Birmingham, etc...).

Aussi la ville de *Berlin* n'a-t-elle pas hésité à installer de vastes fosses septiques pour y traiter ses eaux avant de les envoyer sur les terrains d'irrigation. Grâce à cette pratique, non seulement elle réalise une économie importante sur la concentration des boues, mais encore elle rend beaucoup plus facile l'épuration sur le sol en supprimant tout colmatage.

L'enlèvement des boues des bassins de décantation nécessite donc, lorsqu'on emploie l'irrigation agricole, une dépense au moins deux fois plus considérable qu'avec l'épuration biologique, et cette manipulation est infiniment plus dangereuse que celle des dépôts qui ont subi la fermentation anaérobie en fosses septiques. Ces derniers ne dégagent aucune odeur fécaloïde ou putride; ils ont à peu près l'aspect de la tourbe, sont complètement désodorisés, ne fermentent plus et se dessèchent avec une grande facilité. Au contraire, les boues fraîches, en pleine fermentation putride, sentent horriblement mauvais et il est impossible d'en tolérer le déversement ailleurs que dans des endroits déserts et à condition de les enterrer immédiatement (*Birmingham*).

*
* *

On a reproché au système biologique d'être très inférieur à l'irrigation culturale en ce qui concerne l'élimination des bactéries contenues dans les eaux d'égout.

Ce reproche serait évidemment fondé si l'épuration terrienne était constamment aussi parfaite qu'elle l'est sur quelques parcelles de *Gennevilliers* ou d'*Achères*. Mais nous avons vu qu'elle est loin d'être satisfaisante partout et que certains drains de *Carrières-Triel*, par exemple, laissent échapper une eau soi-disant épurée qui renferme plus de 400 000 bactéries par centimètre cube!

Le sous-sol étant très rarement homogène sur de vastes

surfaces, il est à peu près impossible d'obtenir une purification régulière sur plusieurs centaines d'hectares. Les nappes souterraines et les puits sont dès lors exposés à des contaminations fréquentes et il arrive que l'eau d'égout, s'écoulant par les fissures du calcaire, inonde parfois jusqu'aux caves des maisons!

A *Méry-Pierrelaye* et à *Carrières-Triel*, ces accidents se sont montrés particulièrement graves, à tel point que la Ville de Paris s'est vue obligée de fournir de l'eau potable aux nombreuses communes intéressées.

Avec l'épuration biologique, de tels inconvénients ne sont plus à redouter : l'eau s'épure sur des lits bactériens qui reposent sur un sol rendu imperméable, et elle s'écoule dans des canaux à ciel ouvert *sans communication possible avec les nappes souterraines*. En outre, l'épuration s'effectue avec une régularité parfaite et bien qu'elle laisse subsister un plus grand nombre de germes microbiens, ceux-ci ne sont pas redoutables puisqu'ils ne risquent pas de s'infiltrer dans le sous-sol. Rien n'est plus simple d'ailleurs que de les éliminer presque complètement par une filtration sur sable s'il s'agit de protéger un cours d'eau susceptible de servir à l'alimentation.

*
* *

On a fait encore à l'épuration biologique le reproche de laisser perdre dans les rivières ou dans les fleuves une masse énorme de produits fertilisants dont la valeur est considérable.

Or rien n'est plus facile que de démontrer le mal fondé de cet argument. Avec l'épandage, les plantes n'utilisent qu'une faible partie des nitrates qui proviennent de la désintégration des matières organiques apportées par l'eau d'égout. Tout le surplus s'infiltre dans les couches sous-jacentes et s'échappe par les drains, définitivement perdu pour la culture.

Au contraire, si l'on prend soin de déverser méthodiquement sur des terrains cultivés les eaux provenant de l'épuration biologique, qui renferment encore l'azote sous la forme de nitrates immédiatement assimilables, ceux-ci peuvent être utilisés par les végétaux. Il est bien évident que, dans ces conditions, rien n'oblige à sacrifier la culture à l'épandage

et qu'au contraire l'utilisation agricole peut être réalisée sans le moindre conflit possible avec la culture, puisqu'il n'y a plus lieu d'imposer aucune *dose légale* d'eau d'égout.

*
* *

Est-ce à dire que l'irrigation agricole doive être abandonnée partout où l'on a fait, comme à *Berlin* et à *Paris*, d'énormes sacrifices financiers pour la mettre en pratique? Nous n'avons aucunement la pensée de soutenir cette thèse, et les inconvénients de l'épandage, là où il existe actuellement, ne sont pas tels qu'on doive, sans plus attendre, s'empresser d'y renoncer.

Mais nous pensons qu'on sera peu à peu amené à réduire d'abord, puis à supprimer les champs d'épandage, parce qu'on trouvera plus avantageux d'adopter l'épuration biologique et de rendre à la culture normale, rationnelle, salubre, les vastes espaces actuellement irrigués avec l'eau d'égout.

Nous pensons aussi, qu'au lieu d'acquérir de nouveaux terrains en vue d'y conduire à grands frais l'eau d'égout pour y faire de l'épandage, la Ville de Paris ferait sagement d'affecter les ressources dont elle dispose à l'aménagement progressif de vastes lits bactériens capables de débarrasser la Seine des énormes masses d'eau d'égout dont on la gratifie encore journellement !

CHAPITRE XI

VALEUR AGRICOLE DES BOUES PROVENANT DE L'ÉPURATION CHIMIQUE DES EAUX RÉSIDUAIRES PAR LE SULFATE FERRIQUE

Nous avons entrepris, dans le cours de l'année 1905, des expériences dans le but de déterminer la valeur agricole des boues provenant de l'épuration chimique des eaux par le sulfate ferrique. Ces essais ont été effectués en pots, dans la halle de végétation de l'Institut Pasteur de Lille, sur deux terres très différentes, une terre riche (R) et une terre pauvre (P), avec le blé comme culture expérimentale. Voici les résultats fournis par l'analyse physique et chimique de ces deux terres.

Analyse physique pour mille de terre sèche.

	Terre R.	Terre P.
Sable grossier	148,5	666 5
— fin	650,0	245,0
Argile	153,3	66,0
Humus	9,8	7,9

Analyse chimique pour mille de terre sèche.

	Terre R.	Terre P.
Azote	1,26	0,79
Potasse	1,66	0,76
Acide phosphorique	1,18	0,68
Chaux	13,80	2,40

Le blé ensemencé a été un blé Japhet, dû à l'obligeance de M. Delannoy, instituteur à Erquinghem-Lys.

Nous avons utilisé des boues dont la composition, rapportée à la matière sèche, était la suivante :

Matières organiques	39,16 %
Matières minérales	60,84 %
Azote	0,87 %
Acide phosphorique	1,82 %

Nous avons introduit dans chaque pot des doses variables de ces boues correspondant respectivement, par pot, à :

$0^{gr},1$ d'azote	et	$0^{gr},21$	d'acide phosphorique.
$0^{gr},2$	—	—	$0^{gr},42$	—
$0^{gr},3$	—	—	$0^{gr},63$	—
$0^{gr},5$	—	—	$1^{gr},05$	—

Ces boues étaient sous une forme pulvérulente et renfermaient encore 11,75 pour 100 d'eau. On a ajouté, en outre, dans tous les essais, 1 gramme de potasse sous forme de chlorure de potassium, pour être certain que les plantes aient assez de potasse à leur disposition.

Parallèlement à ces essais et à titre de comparaison, nous avons introduit dans nos deux terres des doses correspondantes d'azote et d'acide phosphorique, mais sous la forme de sulfate d'ammoniaque et de superphosphate, pour comparer l'action de ces engrais à celle des boues.

L'ensemencement a eu lieu le 26 avril et la récolte le 7 septembre. Dès la fin de mai, les pots qui ont reçu des boues ont montré sur ceux qui ont reçu des engrais ordinaires une infériorité manifeste, surtout dans la terre pauvre P où les plantes sont restées petites et criblées de taches jaunes. Les récoltes pesées ont donné les résultats suivants :

A. — *Engrais employés : boues et chlorure de potassium.*

ENGRAIS AJOUTÉ A CHAQUE POT	TERRE R.			TERRE P.		
	GRAIN	PAILLE	TOTAL	GRAIN	PAILLE	TOTAL
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Sans boues, 1^{gr} K^2O	9,7	42,2	51,9	3,1	12,4	15,5
Boues, $0^{gr},1$ Az, $0^{gr},21$ P^2O^5, 1^{gr} K^2O	12,9	42,3	55,2	3,8	11,2	15,0
Boues, $0^{gr},2$ Az, $0^{gr},42$ P^2O^5, 1^{gr} K^2O	15,3	37,7	53,0	3,8	15,4	19,2
Boues, $0^{gr},3$ Az, $0^{gr},63$ P^2O^5, 1^{gr} K^2O	13,1	43,1	56,2	1,8	10,1	11,2
Boues, $0^{gr},5$ Az, $1^{gr},05$ P^2O^5, 1^{gr} K^2O	14,3	45,6	59,9	0,0	7,3	7,3

Nous constatons, par le tableau qui précède, que dans la terre riche R les boues ont produit une légère augmentation de récolte totale. Cette augmentation porte surtout sur le grain et la dose la plus favorable paraît être celle de $0^{gr},2$ d'azote, qui correspond environ à une dose à l'hectare de

8000 kilogrammes de boues à 11,75 % d'eau. Les fortes doses de boues ne paraissent pas exercer d'action nocive sur la plante.

Dans la terre pauvre P, nous constatons aussi, aux doses de boues qui correspondent à $0^{gr},1$ et $0^{gr},2$ d'azote, une augmentation de récolte portant à la fois sur le grain et sur la paille et maxima pour la dose de $0^{gr},2$ d'azote, soit 8000 kilogrammes de boues à l'hectare. Mais, ici, les doses fortes de boues sont nettement nuisibles, probablement à cause de la grande quantité d'oxyde de fer qu'elles renferment. Le rendement diminue très rapidement, et à la dose de $0^{gr},5$ d'azote tous les épis formés étaient vides, tandis que le poids de la paille descendait beaucoup au-dessous du témoin. Il y a donc une dose qu'il ne faut pas dépasser en terre pauvre, sous peine de nuire à la plante. Comme nous l'avons vu plus haut, ce phénomène ne semble pas se produire en terre riche, où l'action nocive est sans doute combattue par l'abondance des éléments fertilisants; ou, s'il se produit, on ne l'observe qu'à des doses supérieures à $0^{gr},5$ d'azote, doses qui sont impossibles à atteindre dans la pratique.

Comparons maintenant les résultats ainsi obtenus avec ceux que donnent les engrais ordinaires, sulfate d'ammoniaque et superphosphate, pour les mêmes doses d'éléments fertilisants.

B. — *Engrais employés : sulfate d'ammoniaque, superphosphate et chlorure de potassium.*

ENGRAIS AJOUTÉ DANS CHAQUE POT	TERRE R.			TERRE P.		
	GRAIN	PAILLE	TOTAL	GRAIN	PAILLE	TOTAL
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Sans sulfate d'ammoniaque, ni superphosphate, 1^{gr} K^2O	9,7	42,2	51,9	3,1	12,4	15,5
Sulfate d'ammoniaque, $0^{gr},1$ Az, superphosphate, $0^{gr},21$ P^2O^5, 1^{gr} K^2O.	17,6	48,9	66,5	6,3	19,8	26,1
Sulfate d'ammoniaque, $0^{gr},2$ Az, superphosphate, $0^{gr},42$ P^2O^5, 1^{gr} K^2O.	20,1	54,5	74,6	10,1	28,9	39,0
Sulfate d'ammoniaque, $0^{gr},3$ Az, superphosphate, $0^{gr},63$ P^2O^5, 1^{gr} K^2O.	22,8	68,6	91,4	12,3	34,4	46,7
Sulfate d'ammoniaque, $0^{gr}.5$ Az, superphosphate, $1^{gr},05$ P^2O^5, 1^{gr} K^2O.	21,5	81,2	102,7	18,0	41,6	59,6

Nous constatons, par le tableau qui précède, l'influence très favorable du sulfate d'ammoniaque et des superphosphates, aussi bien dans la terre R que dans la terre P. Les récoltes de grain et de paille augmentent très fortement : dans la terre R, les rendements en grain et en paille ont été doublés par les doses de $0^{gr},5$ d'azote et de $1^{gr},05$ d'acide phosphorique ; dans la terre P, la récolte de grain a été sextuplée et la récolte de paille quadruplée par les mêmes doses.

Si nous comparons maintenant ces augmentations de rendement à celles qui ont été données par les boues, à égalité d'éléments fertilisants, dans le cas le plus favorable (Az. 0,2), nous constatons qu'en terre riche R la récolte de grain n'a augmenté que de $5^{gr},6$ avec les boues, tandis qu'elle a augmenté de $10^{gr},4$ avec la même dose de sulfate d'ammoniaque et de superphosphate. La récolte de paille en terre R n'a pas subi de variations sensibles avec les boues, elle a augmenté au contraire de $12^{gr},5$ avec les engrais. En terre pauvre P, pour la même dose de $0^{gr},2$ d'azote, les boues ont donné une augmentation de grain de 0,7, tandis que les autres engrais, à dose équivalente, ont augmenté la récolte de grain de 7 grammes, soit dix fois plus De même la paille a augmenté de $3^{gr},5$ avec les boues, et de $16^{gr},5$ avec les autres engrais à dose égale, soit 5 fois plus.

Nous pouvons donc conclure que l'*action des boues n'est jamais comparable à celle des engrais ordinaires qui donnent toujours un rendement beaucoup plus fort*. Il ne paraît donc y avoir intérêt pour le cultivateur à employer ces boues que si elles lui sont livrées à un prix très inférieur à celui des autres engrais, et cela d'autant plus, qu'étant beaucoup moins concentrées elles exigent des frais de main-d'œuvre plus considérables. Nous avons vu qu'en terre pauvre l'augmentation de rendement avec les boues était en moyenne dix fois moins forte pour le grain et cinq fois moins forte pour la paille, qu'avec les autres engrais. L'augmentation de récolte totale est en moyenne sept fois plus faible. Il faudrait donc payer le kilogramme d'azote et d'acide phosphorique, dans cette substance, sept ou huit fois moins cher que dans le sulfate d'ammoniaque et le superphosphate. Il est juste de dire

qu'avec le sulfate d'ammoniaque l'action de l'azote peut être considérée comme épuisée après les résultats signalés ci-dessus, tandis qu'avec les boues, dont l'azote est à l'état organique, l'action favorisante peut se faire sentir pendant plusieurs années. Mais cet avantage est largement compensé par l'inconvénient d'avoir à manier dix fois plus de substance pour produire le même effet, et par les dangers que présente pour les plantes, au moins en terres pauvres, l'emploi à forte dose de ces boues, riches en sels de fer.

CHAPITRE XII

ÉPURATION BIOLOGIQUE DES EAUX RÉSIDUAIRES INDUSTRIELLES.

Les industries dont les eaux résiduaires sont une importante cause de pollution pour nos fleuves, rivières ou canaux navigables, peuvent être rangées en deux grandes catégories :

1° Celles qui mettent en œuvre des matières premières de *nature organique*;

2° Celles qui portent sur le travail des *produits chimiques minéraux* ou des *métaux*.

Les premières comprennent la sucrerie, l'amidonnerie, la féculerie, la distillerie et les diverses industries de fermentation, la tannerie, les filatures et tissages, les teintureries, les peignages de laine, les fabriques de produits alimentaires, la laiterie, les abattoirs, etc.

Elles sont, de beaucoup, les plus nombreuses et l'extrême putrescibilité de leurs résidus les rend particulièrement redoutables.

Les secondes (forges et fonderies, mines de houille, usines de produits chimiques minéraux, galvanoplastie, chaudronnerie, blanchisseries, etc.) empoisonnent les eaux par leurs déversements de substances toxiques pour les êtres vivants, poissons ou plantes. Mais elles sont presque toujours localisées dans les grandes villes ou dans les agglomérations importantes (le Creusot, Saint-Gobain, etc.), dont il leur est généralement possible d'utiliser les égouts. Elles sont aussi moins dangereuses parce qu'il leur est relativement facile d'épurer leurs eaux usées par des procédés chimiques simples.

Au contraire, les industries de la première catégorie éprouvent les plus grandes difficultés à rendre imputrescibles leurs

résidus de nature organique. L'emploi des réactifs chimiques ne leur a guère occasionné que des déboires lorsqu'elles ont voulu les appliquer en grand : ces réactifs précipitent généralement bien les matières en suspension ou les substances coagulables, mais ils laissent intactes la presque totalité des matières *dissoutes* qui sont précisément les plus putrescibles; souvent même, tel est le cas pour la chaux, ils favorisent les fermentations malodorantes. On est donc obligé d'y renoncer, et les pouvoirs publics se trouvent désarmés en présence de l'insuccès des diverses méthodes successivement essayées.

En Angleterre et en Allemagne, plusieurs tentatives ont été faites en vue d'appliquer les principes de l'épuration biologique aux eaux résiduaires de brasserie, de laiterie ou de tannerie. Les résultats furent presque partout satisfaisants.

Nous-même avions commencé dès 1902 à la sucrerie de *Pont-d'Ardres* (Pas-de-Calais), avec le concours de MM. *Leroux* et *Vié*, et chez M. *Barrois-Brame* à Marquillies (Nord), des expériences relatives à l'épuration des eaux résiduaires de sucrerie. Elles furent si concluantes que M. le Préfet du Nord n'hésita pas à les recommander à l'attention des industriels intéressés, par une circulaire, en date du 27 mai 1905, dans les termes que voici :

« Vous connaissez les plaintes incessantes auxquelles donne lieu chaque année la pollution des cours d'eau par le déversement des eaux de sucrerie; des odeurs désagréables et malsaines se répandent à côté des rivières contaminées, compromettant la santé et la vie des hommes et des animaux.

« La loi oblige les industriels à ne rejeter dans les cours d'eau que des eaux épurées, et le service de la navigation, comme le service de la salubrité, ont pour mission de faire observer la loi et de poursuivre les contrevenants.

« Tant qu'aucun procédé simple et peu coûteux n'était à la disposition des fabricants de sucre, ces services ont montré envers eux une certaine indulgence.

« Mais il est aujourd'hui surabondamment démontré que ces procédés simples et peu coûteux existent et l'expérience montre qu'ils donnent les meilleurs résultats.

« Aussi, et tout en laissant aux fabricants de sucre toute

liberté sur les moyens à mettre en œuvre pour éviter la contamination des cours d'eau, serai-je disposé à me montrer plus sévère envers ceux qui continueraient à commettre des abus facilement évitables.

« Je ne puis que vous engager très vivement à faire étudier les bassins qui fonctionnent à Pont-d'Ardres et à Marquillies; vous serez rapidement convaincu et disposé, j'en suis certain, à adopter un procédé qui vous mettra à l'abri de reproches justifiés qui vous étaient antérieurement adressés.

« Vous étudierez aussi avec fruit les bassins d'épuration de la Madeleine. M. le docteur Calmette se fera certainement un devoir de vous donner sur leur mode de construction et de fonctionnement tous les renseignements que vous pourriez désirer. Le service de la salubrité se tiendra également prêt à vous communiquer des plans d'installation et à procéder à l'examen critique des projets que vous aurez bien voulu faire dresser.

« Je vous serai reconnaissant de vouloir bien répondre à la présente communication.

« Agréez, Monsieur, l'assurance de ma considération très distinguée. »

Le Préfet du Nord,
L. Vincent.

Encouragé par nos premiers résultats avec les eaux résiduaires de sucreries, nous avons immédiatement entrepris d'appliquer les mêmes méthodes, modifiées suivant les circonstances, d'abord aux eaux résiduaires d'amidonnerie et de féculerie, puis aux vinasses des distilleries de betteraves; car ces quatre industries, presque toujours *rurales*, sont les grande causes de contamination de nos cours d'eau.

Nous nous proposons ensuite d'étudier successivement toutes les autres.

A. — Eaux résiduaires de sucreries.

La plupart des sucreries de betteraves sont situées en pleine campagne, au milieu des cultures dont elles travaillent le produit.

Les eaux résiduaires de ces usines se composent principalement des eaux de lavage des betteraves, des transporteurs hydrauliques, et des presses. Celles qui proviennent de ces dernières sont un mélange des eaux exprimées des *cossettes* épuisées, avec toutes les eaux sales produites à la diffusion (eaux de chasse, de la fosse à cossettes, etc.).

La production des eaux résiduaires pour 1000 tonnes de betteraves peut être évaluée ainsi qu'il suit :

Eaux des lavoirs et du transporteur . .	10 000 à 12 000 m^3
Eaux des presses.	500 à 800 m^3

Les premières sont surtout chargées de terre; si l'on pouvait les rejeter immédiatement après décantation, il n'en résulterait aucun danger de contamination, car elles dissolvent très peu de matières organiques pendant l'emploi; ce n'est que lorsque l'on travaille des betteraves avariées ou gelées, que l'on y observe la présence du sucre en proportion notable. Malheureusement le grand volume nécessaire oblige à les réemployer après décantation, lorsque l'usine est dans une région pauvre en eau. Alors les masses d'eau qui font, pendant toute une campagne, la navette entre l'usine et les bassins de décantation, se souillent de plus en plus par les produits solubles des fermentations des débris végétaux entraînés dans les boues : l'eau devient acide au bout de quelque temps et l'analyse y décèle les acides butyrique et acétique. Cependant la concentration des eaux de lavage, même en fin de campagne, est loin d'atteindre celle des eaux de presses.

Ces dernières sont de véritables résidus inutilisables, que l'usine doit évacuer. Elles sont très chargées de matières organiques hydrocarbonées, dont le sucre forme à peu près la moitié, et de débris végétaux solides, pulpes folles et fragments de cellules. Les matières azotées en sont presque absentes; les sels minéraux sont les mêmes que dans l'eau courante.

En effet, les sels de potassium et de sodium de la betterave, et les composés amidés, sont facilement diffusibles et passent presque en totalité dans le jus : il ne reste que les sels de l'eau qui imprègne les cossettes, et la matière azotée est

réduite aux petites quantités d'albuminoïdes végétaux qui ne restent pas dans la pulpe (F. Vié).

La composition est variable; on trouve par litre :

Matières organiques dissoutes (par la perte au rouge)	4 à 6gr
Matières minérales	1 à 2gr
Saccharose	2 à 3gr,5
Azote total	0gr,020 à 0gr,050
Azote ammoniacal	0gr,002 à 0gr,007
Matières en suspension	5 à 20gr et plus

Ces eaux, *fraîches*, ont une réaction neutre et dégagent l'odeur caractéristique de la betterave. Lorsqu'on les abandonne à elles-mêmes, elles ne tardent pas à fermenter en produisant des acides acétique et butyrique à odeur très pénétrante de beurre rance.

Les systèmes d'épuration basés sur l'emploi des réactifs chimiques, tels que la chaux, les sulfates ferreux ou ferrique, le sulfate d'alumine, etc., précipitent les matières pectiques et entraînent la plus grande partie des matières en suspension; mais ils présentent tous le grave inconvénient de laisser intactes les substances organiques dissoutes telles que le sucre, et celles-ci, déversées dans les rivières, se putréfient en donnant naissance à des produits solubles et gazeux nocifs et mal odorants.

D'autre part, l'*irrigation agricole*, dont l'efficacité est incontestablement plus parfaite, est le plus souvent impossible à appliquer, soit parce que les terres suffisamment perméables font défaut, soit parce qu'elle nécessite des surfaces beaucoup plus considérables que celles dont on dispose d'ordinaire à proximité des fabriques de sucre. En effet, les terrains cultivés et même les sols en jachères ne peuvent guère absorber et épurer convenablement plus de 10 mètres cubes d'eaux de presses et de diffusion par hectare et par jour. Une usine de moyenne importance produisant quotidiennement 500 mètres cubes d'eaux de presses et de diffusion devrait donc affecter 50 hectares à l'irrigation continue pendant toute la campagne, et il lui faudrait trouver, en outre, d'autres espaces pour décanter ses eaux de lavage de betteraves, dont le volume atteint environ 10 000 mètres cubes par 1000 tonnes de betteraves mises en œuvre!

On comprend donc que, jusqu'à présent, les fabricants de sucre aient éprouvé de grandes difficultés à se soumettre aux obligations qui leur sont imposées par les lois et les règlements d'administration publique relatifs à la protection des cours d'eau.

*
* *

Nos premiers essais d'épuration biologique des eaux résiduaires de sucreries ont été effectués à *Pont-d'Ardres* et à *Marquillies* d'après le procédé des lits de contact, avec deux et trois contacts successifs, après séparation des pulpes folles au moyen d'un simple tamisage, et sans fermentation préalable en fosse septique, celle-ci devant être plus nuisible qu'utile en raison de l'absence presque totale des matières azotées et de l'extrême abondance des matières hydrocarbonées dont la transformation en acide butyrique doit être évitée avec le plus grand soin.

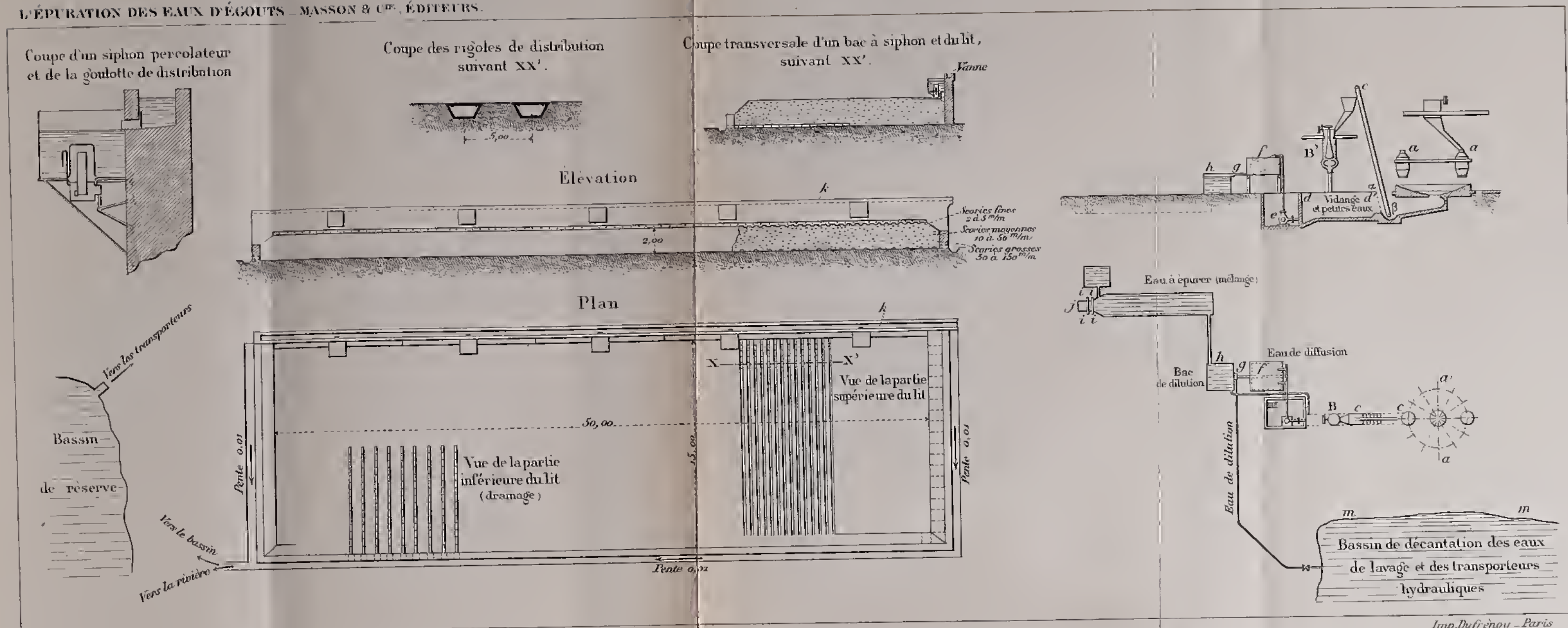
La moyenne générale de l'épuration obtenue, calculée d'après l'oxydabilité au permanganate en solution acide, a été de 89,8 pour cent et, d'après la perte au rouge, de 77,5 pour cent avec trois contacts de 1 heure 1/2 à 2 heures chacun.

L'eau épurée avait presque complètement perdu l'odeur de betterave; elle n'était plus putrescible, même après six jours d'incubation à 30° en flacons bouchés à l'émeri; elle ne *présentait aucune toxicité pour les poissons*, et pouvait être rejetée sans inconvénients dans les cours d'eau.

A la suite de ces expériences, nous avons été amenés à modifier la construction et le fonctionnement des lits bactériens ainsi que la marche industrielle du procédé.

A l'ancien procédé des *contacts*, qui nécessite la présence à peu près constante d'un opérateur et qui rend possibles les fausses manœuvres de vannes, nous préférons le lit unique à percolation, dont l'automatisme de fonctionnement est absolu.

Sur la demande du syndicat des fabricants de sucre et d'accord avec nous, M. *Émile Saillard*, directeur du laboratoire du syndicat, a dressé ainsi qu'il suit le plan et le mode de fonctionnement de ce système. Nous ne saurions mieux faire que de reproduire *in extenso* le texte de l'instruction qu'il a rédigée (*fig.* 40).



E. Morieu, Gr.

Imp. Dufrénoy _ Paris

Fig. 40 _ PLAN SCHÉMATIQUE D'UNE INSTALLATION D'ÉPURATION BACTÉRIENNE DES EAUX RÉSIDUAIRES DE SUCRERIE.

Les eaux de vidange de la batterie de diffusion *a* sont reçues dans la fosse sous-jacente; l'élévateur *cc'* prend les cossettes épuisées qu'il amène dans les presses B, tandis que les eaux de vidange ou petites eaux traversent la grille pour se rendre à l'aqueduc *dd'*, qui reçoit également les eaux de presses B'.

Ces eaux sont prises par une pompe centrifuge *e* et refoulées dans deux épulpeurs (tamis cylindriques rotatifs), dont le rôle est de retenir les pulpes folles en suspension.

Elles arrivent ainsi dans le bac de dilution *h*, muni d'un trop-plein faisant retour à l'aqueduc.

Elles y reçoivent de l'eau décantée de betteraves (laveurs et transporteurs) dans la proportion d'au moins 75 pour cent ou mieux de 100 pour cent, ce qui porte à 300 ou 400 litres la quantité d'eau à traiter par 100 kilogrammes de betteraves.

Il est évident qu'on peut mélanger aux eaux de diffusion une proportion quelconque d'eaux de betteraves au-dessus de celle qui vient d'être indiquée; mais il semble prudent de ne pas descendre au-dessous de 100 litres par 100 kilogrammes de betteraves. La surface des lits bactériens devra évidemment être en rapport avec le volume du mélange. Disons, en passant, qu'il faut environ 1 mètre carré de lit bactérien unique par mètre cube d'eau à traiter.

Quant aux eaux de betteraves (laveurs et transporteurs), nous avons supposé qu'elles sont prises par une pompe centrifuge et refoulées dans des bassins de décantation [1] (qui peuvent se trouver en charge sur l'aqueduc *dd'*). C'est ce qui se fait dans les fabriques qui emploient plusieurs fois la même eau pour l'alimentation des transporteurs hydrauliques.

Dans ce cas, il suffit d'avoir un tuyau de trop-plein, de diamètre approprié, branché sur le dernier bassin de décantation et qui conduise, dans le bassin de dilution *h*, la quantité d'eaux de betteraves prévue.

Si l'usine est placée sur un terrain en pente, et qu'on ne réutilise pas les eaux des transporteurs, il est toujours pos-

[1] Les bassins de décantation ont été mentionnés sur le plan, mais n'y ont pas été dessinés. Ces bassins peuvent être, en effet, établis à la façon habituelle. Il suffit que le parcours de l'eau soit assez long pour que la décantation se produise.

sible de placer les bassins de décantation à un niveau plus élevé que le lit bactérien.

Les eaux décantées de betteraves apportent dans l'eau à traiter les ferments mêmes qui produiront l'épuration dans les lits. Leur rôle est, comme on le voit, indispensable.

L'expérience a démontré également que les eaux de diffusion doivent recevoir les eaux de betteraves, juste au moment où elles vont se déverser sur le lit bactérien. Si elles restent longtemps mélangées avant d'aller à l'épuration, il se développe, en effet, des fermentations (fermentation butyrique surtout) qui communiquent à l'eau une odeur et une acidité qui nuisent à la bonne marche des lits bactériens. Et ces fermentations se développent d'autant plus facilement que les eaux de diffusion sont diluées dans une plus grande quantité d'eaux de betteraves. Il ne faut donc pas envoyer les eaux de diffusion [1], avec les eaux de betteraves, dans les bassins de décantation.

Dans le dessin, on a prévu un bac de dilution *h* qui est précédé d'un vase mélangeur dans lequel arrivent à la fois les eaux de diffusion et l'eau de betteraves décantée. Il faut que le mélange soit aussi complet que possible.

*
* *

Ainsi qu'il a été dit, le mélange d'eaux à épurer, au sortir du bac de dilution *h*, arrive aux grilles filtrantes *ii* par un canal à large section. Le rôle de ces grilles est d'arrêter au passage les dernières pulpes folles. On peut avoir deux ou trois jeux de grilles interchangeables qu'on remplace quand il y a engorgement par les pulpes retenues.

Peut-être pourrait-on employer, à la place des grilles, des paniers à section rectangulaire en treillage métallique, qu'on remplirait de mâchefer ou scories de grosseur appropriée et qu'on placerait en travers du courant d'eau. On les soulèverait par un moyen mécanique pour en changer le contenu, quand cela serait nécessaire.

Peut-être aussi pourrait-on se servir de toiles métalliques tissées qu'on placerait, comme les paniers, en travers du cou-

[1] Ceci est surtout vrai pour les eaux de presses.

rant d'eau. Elles seraient beaucoup plus faciles à manier que les grilles ou les paniers.

En tout cas, il est à conseiller d'établir, à cet endroit, et près du canal de passage de l'eau, un bassin ou une fosse, où, quand on nettoie les grilles ou tamis, les pulpes arrêtées au passage puissent être évacuées, en levant une vanne de côté.

Tout cela revient à dire que les eaux arrivant sur les lits bactériens doivent être débarrassées le plus complètement possible des pulpes folles qu'elles peuvent contenir, afin d'éviter le colmatage des lits.

Si, malgré les précautions prises, le colmatage venait à se produire, il faudrait enlever les parties colmatées et y remettre à la place des scories neuves.

* * *

Après ce traitement mécanique, les eaux à épurer passent successivement dans la goulotte d'amenée *k*, qui les déverse dans les bacs à siphons de vidange.

Elles sont ensuite épandues sur toute la surface du lit bactérien par une goulotte dite de distribution, qui alimente, au moyen de vannelles, autant de rigoles qu'il est nécessaire.

Goulotte d'amenée k. — Elle peut être en tôle ou en maçonnerie, etc. En regard de chaque bac distributeur, elle porte une ouverture d'arrivée de l'eau qu'on peut commander par une vanne. Cette goulotte est évidemment en charge sur les bacs à siphon.

Bacs à siphon. — Ces bacs peuvent être en tôle ou en ciment. Ils sont munis à leur intérieur d'un siphon d'écoulement qui leur permet de se vider en 50 secondes ou 1 minute. Le débit d'eau qui les alimente doit leur permettre de se remplir en 12 ou 15 minutes.

Il est bon de les munir de compteurs de vidanges ou de remplissages. On a ainsi la possibilité de voir si, dans un temps donné, ils ont fonctionné avec la périodicité voulue.

Sur le dessin, on les a placés à 10 mètres l'un de l'autre.

Lit bactérien. — Le lit bactérien prévu dans le dessin est un lit bactérien unique.

On lui a donné une hauteur de 2 mètres, alors que les lits

successifs tels qu'on les avait primitivement installés à Marquillies, ont chacun une hauteur de 1 mètre environ. Cette simplification réduit la surface totale nécessaire pour les lits bactériens.

Le fond du lit doit avoir une pente d'environ 1 centimètre par mètre. Si l'on est dans un terrain solide, on le fait avec de l'argile convenablement damée. Dans le cas contraire, on le fait avec un béton léger, à la chaux hydraulique, avec scories ou briques concassées (on peut employer, à cet effet, les fines scories qui sont restées après la construction du lit bactérien). On donne au béton une épaisseur de $0^m,10$ ou $0^m,12$ qui devrait être augmentée, si le sol était très mauvais. Il faut employer le moins d'eau possible pour faire ce béton.

Le fond doit être assez solidement assis pour qu'il n'y ait pas d'affaissements qui puissent provoquer une stagnation de l'eau en certains endroits.

Afin de faciliter l'écoulement de l'eau épurée, on dispose sur le fond, suivant des lignes parallèles, distantes de 1 mètre, des pannes faîtières placées bout à bout et séparées par un intervalle de 1 centimètre à $1^{cm},5$. Elles constituent autant de rigoles directrices. Point n'est besoin d'en pourvoir toute la longueur du lit; il suffit d'en mettre sur la moitié de la longueur, du côté opposé à l'arrivée de l'eau.

A la rigueur, quand le fond a une pente et une fermeté suffisantes, ces pannes faîtières ne sont pas indispensables; mais comme, à la longue, il peut toujours tomber, sur le fond, des scories désagrégées ou de la terre, il est plus prudent d'y avoir recours.

Les scories ou mâchefers destinés à former le lit bactérien doivent être passés au crible, afin d'éliminer toutes les parties fines. Cette précaution est indispensable.

Avec des tamis de dimensions appropriées, on les classe par ordre de grosseur et on en remplit le lit en mettant au fond les plus grosses.

Pour fixer les idées, nous dirons que :

1° Sur une hauteur de $0^m,25$ à $0^m,30$, on place les plus grosses scories ayant plus de $0^m,10$ de diamètre;

2° Sur une hauteur de $1^m,60$ à $1^m,65$, on place les scories moyennes passant au crible de $0^m,10$;

3° Sur une hauteur de 0m,10 à 0m,15, on place les scories fines passant au crible de 0m,02.

A la rigueur, on pourrait aussi composer le lit d'une façon uniforme sur toute la hauteur; l'important est que les parties très fines, poussiéreuses, soient complètement éliminées.

Sur le dessin, le pourtour du lit (sur 3 faces) est limité par un mur en maçonnerie percé à sa partie inférieure de nombreuses ouvertures qui livrent passage à l'eau épurée.

Le mur en maçonnerie n'est pas indispensable. Le lit bactérien peut se terminer à la façon d'un tas de pierres cassées, c'est-à-dire suivant un plan incliné formé par les scories elles-mêmes; il faut veiller à ce que la rigole d'écoulement qui entoure le lit bactérien ne s'obstrue pas et ne ralentisse pas l'évacuation des eaux épurées. Le mur donne évidemment plus de garanties à ce sujet.

A la surface du lit sont tracées des rigoles parallèles distantes de 0m,50 qu'on voit sur le dessin. Elles ne sont pas prolongées jusqu'à l'extrémité opposée du lit; on les arrête à environ 0m,50 du bord.

La dernière rigole latérale est tracée à 0m,50 ou 0m,75 du bord.

Les rigoles sont alimentées, ainsi qu'il a été dit, par un caniveau (ou goulotte) qui leur est perpendiculaire et dans lequel s'écoule directement le contenu des bacs à siphon.

Il porte, en regard de chaque rigole, une ouverture qui est commandée par une vannette à main, qu'on règle une fois pour toutes, de manière que toutes les rigoles reçoivent à peu près le même volume d'eau dans le même temps.

La tête de la rigole est faite ainsi que le montre le dessin en coupe (voir plan) par trois briques, à section évasée, de 0m,33 de longueur, placées bout à bout et sur lesquelles tombe l'eau arrivant du caniveau. (On évite ainsi que l'eau en coulant ne creuse, à la longue, un sillon profond à l'endroit de l'arrivée.)

Entre deux rigoles consécutives, les scories forment naturellement un dos d'âne à travers lequel l'air est appelé derrière l'eau qui pénètre peu à peu dans les lits de scories.

Il est à noter que la longueur du lit bactérien, considérée dans le sens des rigoles superficielles, ne saurait être quelconque. Il faut que, pendant la vidange des bacs à siphon

l'eau puisse arriver jusqu'à l'extrémité du lit. Sur le dessin de la fig. 41, les rigoles superficielles ont une longueur de 15 mètres; mais il faut plutôt considérer ce chiffre comme un maximum. Par quelques essais préalables, on peut voir si, pour une installation donnée, il est le meilleur, car il peut varier suivant la pente, suivant les scories, suivant la largeur des rigoles, etc.

Une fois la longueur des rigoles fixée, le lit bactérien se développera dans un sens perpendiculaire aux rigoles, d'autant plus qu'on aura plus d'eau à épurer, à raison de 1 mètre carré environ par mètre cube d'eau à traiter.

*
* *

Il reste maintenant à montrer le rôle que peuvent jouer certaines influences pendant l'épuration :

Température. — Dans le rapport si consciencieux de M. *Frédéric Vié* sur les essais faits à Pont-d'Ardres en 1901, 1902 et 1903, on trouve, au sujet de la température, des observations fort intéressantes que nous croyons devoir rapporter textuellement :

« Le fonctionnement des lits bactériens n'a pas été ralenti par le froid, même pendant une période prolongée de très basse température (jusqu'au-dessous de — 10°) où la surface des lits était gelée. Des thermomètres placés dans la masse de garnissage ont permis de constater que l'intérieur se maintenait, dans les lits de premier contact, à une dizaine de degrés au-dessus de la température ambiante et, dans ceux de deuxième contact, à une température à peu près constante, voisine de 20 degrés C. Un thermomètre enregistreur, placé dans le lit de premier contact, a montré, de plus, un réchauffement très net quelquefois de 6 ou 7 degrés, pendant la période d'aération entre la vidange et le remplissage suivant.

« Ainsi la température intérieure des lits ne s'est jamais abaissée au-dessous de 5 degrés. Jusqu'à cette limite, la température ne paraît pas influencer l'épuration. Nous avons comparé, d'après les courbes de l'enregistreur, les variations de l'épuration avec celles de la température et nous n'avons pu découvrir de relations entre elles, sur 28 observations

entre les limites 5 degrés et 21 degrés C. Entre ces limites, du moins, l'influence de la température n'est pas sensible.

« Conséquence précieuse pour l'application avec les froids habituels de l'hiver dans la région : il n'y a rien à craindre. »

Cela veut dire que les lits bactériens étant en bon fonctionnement et permettant un bon écoulement sans stagnation aucune des eaux qui y arrivent, n'ont pas été gênés, dans leur travail épurant, par les basses températures de l'atmosphère.

Il va sans dire que la ventilation et l'aération doivent bien s'effectuer à travers le lit, afin d'éviter partout les fermentations anaérobies.

Ajoutons à cela que les eaux de presses et les eaux de vidange de la diffusion ont, dans beaucoup d'usines, une température qui dépasse 15 degrés. Mélangées avec leur poids ou les deux tiers de leur poids d'eaux décantées de betteraves, elles prennent donc une température qui dépasse presque toujours 15 degrés et qui s'élève pendant l'épuration.

Influence de l'acide carbonique. — Qu'il s'agisse d'épuration par les lits bactériens ou d'épuration par les champs d'épandage, quand il y a destruction de matière organique par fermentation, il y a toujours production de gaz carbonique.

L'eau se charge donc d'acide carbonique et en touchant les scories ou mâchefers, elle dissout du calcaire et un peu de fer. Ce sont des bicarbonates qui se forment.

Il en résulte une élévation du degré hydrotimétrique de l'eau. M. *Vié* a fait la même constatation sur les eaux de Wattringues — lesquelles proviennent, en somme, de terres où s'effectue de l'épuration biologique — et il leur a trouvé un degré hydrotimétrique dépassant souvent 60 (Ceci ne présente pas d'inconvénients quand les eaux sont déversées dans la rivière).

Noircissement de l'eau. — Il importe de bien préciser dans quels cas il se produit :

Il est la preuve que l'épuration n'est pas suffisante. Il ne se remarque que si on conserve les eaux épurées pendant un certain temps à une température relativement élevée (25 degrés par exemple, ou à la température des habitations).

On l'explique, toujours d'après le même auteur, de la manière suivante :

Si l'eau contient encore des matières organiques en proportion suffisante, les ferments réducteurs de sulfates se multiplient et il y a formation d'hydrogène sulfuré qui, avec le peu de fer qui est dissous dans l'eau, donne du sulfure de fer noir.

Des sulfures peuvent préexister dans l'eau à épurer ou prendre naissance aux dépens du sulfate de chaux. Quand les sucres ont été détruits par fermentation, l'action épurante se porte sur les composés sulfurés et le « noircissement » indique que l'attaque des composés sulfurés commence. Il ne se produit que si l'épuration est incomplète.

Quand les lits bactériens ont fonctionné d'une façon normale, l'eau épurée peut, il est vrai, noircir à la longue quand on la maintient pendant longtemps à la température de 25 degrés; mais elle ne noircit pas si on la laisse s'écouler dans la rivière, où elle se mélange avec une proportion d'eau plus ou moins grande qui est toujours plus froide.

Effet de l'épuration. — La détermination du résultat de l'épuration nécessite de nombreuses analyses qui ne peuvent pas toujours être faites dans un laboratoire de sucrerie.

Nous n'en parlerons donc pas à cette place.

Nous dirons seulement que la présence du sucre dans les eaux épurées est chose à éviter.

Les eaux renfermant du sucre sont très facilement fermentescibles, alors que les mêmes eaux, débarrassées de leur sucre ou des réducteurs qui en proviennent, peuvent quelquefois, suivant M. Rolants, être conservées deux ou trois jours sans fermenter.

Il faut donc porter son attention sur ce point particulier. Au cas où l'on voudrait suivre l'épuration de plus près, des renseignements plus étendus sur les méthodes à employer pourraient être donnés.

Réaction. — Il est bon de contrôler de temps en temps la réaction de l'eau arrivant au lit bactérien, et cela par quelques dosages.

Dans les usines qui emploient du bisulfite de soude à la diffusion, en l'introduisant vers le milieu de la batterie, la quantité d'acide sulfureux qui reste dans les eaux de diffusion est insignifiante et ne peut gêner la marche de l'épuration bactérienne.

Il en reste davantage dans les usines qui sulfitent l'eau d'alimentation de la batterie; mais, comme les eaux de diffusion sont ensuite étendues d'eau dans la proportion de 75 à 100 pour 100, comme l'acide sulfureux s'oxyde facilement à l'air, on ne voit pas comment il pourrait être nuisible.

PRIX D'INSTALLATION

Il est bien difficile de le fixer par un chiffre qui soit exact dans tous les cas et on ne peut donner qu'une indication générale destinée à fixer les idées.

Les travaux d'installation peuvent être divisés en deux parties :

La première partie comprend les terrassements, la construction du lit bactérien, avec des scories ou mâchefers, ses rigoles d'écoulement, etc.

La seconde partie comprend la partie métallique, c'est-à-dire les caniveaux en tôle, les bacs à siphon et à compteurs, les vannes, etc.

Quand on a les plans nécessaires, la première partie peut être faite, presque entièrement, par des ouvriers de la fabrique ou des ouvriers du pays.

Quant à la seconde partie, si on la confie à un entrepreneur et qu'on l'exécute comme il a été dit plus haut, elle peut coûter 3500 à 4500 francs pour une épuration journalière portant sur 500 mètres cubes d'eau, dont 250 mètres cubes d'eaux de presses.

Il faut bien noter que le procédé demande surtout des frais de première installation. Il n'exige aucun achat de produit chimique et demande seulement qu'on entretienne le tout en bon état.

Telles sont la construction et la marche actuellement admises pour l'épuration par lits bactériens.

Bien que le procédé n'ait pas encore dit son dernier mot et soit probablement susceptible de perfectionnements que l'usage montrera, tous ceux qui l'ont expérimenté reconnaissent qu'il donne, quand il marche normalement, des eaux suffisamment épurées pour pouvoir être écoulées dans les cours d'eau.

Aussi, après en avoir constaté les résultats, le Conseil d'Hygiène du département du Nord n'a-t-il pas hésité à émettre l'avis qu'il y a lieu d'inviter tous les fabricants de sucre à le mettre en application dans le plus bref délai possible, et d'interdire désormais le déversement des eaux fermentescibles provenant des sucreries dans les ruisseaux, rivières et canaux navigables.

B. — Épuration biologique des eaux résiduaires d'amidonneries.

L'amidonnerie était considérée autrefois comme une industrie très insalubre. Il est vrai que le procédé alors employé était très défectueux. On opérait la séparation de l'amidon en faisant fermenter le gluten qui devenait la proie d'une foule d'organismes produisant d'abord des acides (acétique, lactique, butyrique, etc.), puis des gaz infects (hydrogène sulfuré, ammoniaque, etc.). Cette putréfaction, qui durait de vingt à trente jours, dégageait des odeurs telles qu'un décret de 1810 plaça les amidonneries dans la première classe des établissements insalubres. Ce procédé, qui avait du reste le grave inconvénient de perdre la plus grande partie d'un composé éminemment nutritif, le gluten, a été remplacé par d'autres permettant une extraction mécanique rapide et inodore de l'amidon.

Les procédés modernes sont, ou exclusivement *mécaniques* pour l'amidon de blé, permettant de récupérer le gluten d'une grande valeur commerciale, ou *chimiques* pour les amidons de maïs et de riz, le gluten de ces derniers grains ne pouvant être séparé de l'amidon par action mécanique.

Les fabriques d'amidon de blé ayant le plus grand intérêt à ne rien perdre des grains qu'elles travaillent, n'évacuent en général que des eaux très peu polluées. Il n'en est pas de même des fabriques d'amidon de maïs qui, par ce fait, sont placées dans la deuxième classe des établissements insalubres.

Pour retirer l'amidon du maïs on fait tremper les grains dans une eau contenant soit de la soude, soit de l'acide sulfureux (souvent à l'état de bisulfite de soude), pendant un certain

temps à une température convenable. Le grain écrasé entre deux cylindres laisse échapper l'amidon dont on le sépare par tamisage. L'amidon est lavé abondamment, mis à déposer, puis séché. Les drèches pressées servent à l'alimentation des bestiaux.

On doit donc évacuer de l'usine les eaux de trempage, de lavage et de pressurage des drèches, soit quinze à vingt fois le poids du grain mis en œuvre. Ces eaux contiennent en suspension une très petite quantité d'amidon qui a échappé aux bacs de dépôt et un peu de drèches. Elles contiennent aussi en solution les substances solubles du grain, ainsi que celles produites par l'action des produits chimiques employés sur les éléments du grain, et en particulier sur les éléments azotés. Tous ces composés solubles sont éminemment putrescibles et ne tardent pas à devenir la proie des ferments; cependant, dans le procédé à l'acide sulfureux, la petite quantité de cet acide qui reste encore dans les eaux (8 à 12 milligrammes par litre) est suffisante pour retarder la putréfaction qui ne s'effectue pas dans l'usine, mais s'opère dans les cours d'eaux où ces eaux sont déversées, immédiatement aussitôt que l'acidité est neutralisée. Le déversement de ces eaux peut causer de tels dommages dans les rivières poissonneuses, qu'une usine installée sur le canal de Bourbourg (Nord) a dû arrêter son travail.

Le Conseil d'Hygiène du Nord a été appelé à deux reprises à donner son avis sur les conditions à exiger des industriels demandant l'autorisation d'établir une amidonnerie. M. Meurein, puis M. Delezenne demandèrent dans leurs rapports que les eaux soient reçues alternativement dans deux bassins où elles seraient traitées par un lait de chaux, de façon qu'après mélange et repos suffisant elles s'écoulent limpides, inodores et légèrement alcalines. Les boues seraient enlevées aussi souvent que cela serait nécessaire, mises à égoutter et employées comme engrais.

L'épuration ainsi obtenue est déjà appréciable, mais elle n'est pas appliquée; au contraire, certains industriels additionnent même, paraît-il, les eaux d'acide, dans le but de pouvoir les laisser reposer quelque temps dans leur usine sans putréfaction, de façon à en retirer les drèches entraînées qu'ils mélangent aux résidus de leur fabrication.

Les eaux résiduaires d'amidonnerie contenant des matières organiques facilement putrescibles, il était à présumer que la méthode d'épuration biologique pouvait donner d'aussi bons résultats que ceux obtenus avec les eaux de sucrerie. Aussi avons-nous déterminé M. *Cousin Devos*, amidonnier à Haubourdin (Nord), à faire de nouveaux essais dont nous avons chargé M. *Bardoux*, licencié ès-sciences, sous notre direction.

Il fut établi à l'usine des bacs carrés de 0^m,80 de hauteur, avec une capacité utile de 1400 à 1500 litres sur trois étages. Un autre bac, plus élevé, servait de réservoir. Dans les bacs des trois premiers étages devant servir de lits bactériens aérobies, sur un faux fond en bois percé de trous, on dispose des scories de 3 à 5 centimètres de diamètre, puis d'autres diminuant de grosseur jusqu'à 1 centimètre pour la surface. L'évacuation se faisait par le fond muni d'un robinet et par une rigole conduisant les eaux sur le bac inférieur.

Les eaux, d'aspect laiteux, paraissant ne contenir que relativement très peu de matières en suspension, on espéra d'abord pouvoir les épurer, comme les eaux de sucrerie, directement par contact aérobie. Quelques essais sur de petits lits bactériens de laboratoire nous avaient donné de bons résultats. Il n'en fut pas de même à l'usine, car les drèches entraînées à de certains moments ne tardèrent pas à colmater la surface des lits et empêchèrent toute oxydation.

Les lits furent remis en état; ensemencés avec de la délayure de bonne terre arable, ils ne tardèrent pas à nitrifier des solutions de sulfate d'ammoniaque.

Il restait donc deux moyens : la destruction des matières en suspension par fermentation anaérobie en fosse septique, ou leur précipitation par un agent chimique.

Les essais de traitement des eaux en fosse septique ne donnèrent pas de bons résultats. On avait pourtant ensemencé la fosse septique avec des quantités importantes de matières fécales, mais il se déclara quand même une fermentation butyrique qui, comme pour les eaux de sucrerie, empêcha toute oxydation sur les lits bactériens.

L'épuration chimique par la chaux, qui est le meilleur et le moins coûteux précipitant dans le cas qui nous occupe, donne,

comme nous l'avons dit plus haut, une épuration appréciable. Elle précipite une partie des composés solubles en entraînant en même temps toutes les matières en suspension. Mais il reste en solution des composés fermentescibles. Ces composés sont complètement oxydés par deux contacts sur lits bactériens aérobies. En effet, l'effluent, après ces deux contacts, est limpide ou très légèrement opalescent et, mis à l'étuve à 30°, ne donne plus lieu à production d'hydrogène sulfuré comme cela arrive au bout de très peu de temps avec l'eau brute et même avec l'eau traitée par la chaux.

La quantité de chaux est très faible; 0^{gr},20 environ par litre suffisent pour saturer l'acide sulfureux et donner à l'eau une très légère alcalinité, qui ne nuit pas du reste à l'oxydation dans les lits bactériens. Le dépôt se fait très rapidement en moins d'une heure.

Le tableau ci-dessous montre l'action des ferments des lits bactériens; et l'eau, après le 2e contact, a une composition analogue à celle d'une eau de rivière non polluée.

Eaux résiduaires d'amidonnerie.

Résultats en milligrammes par litre.

EAU	ASPECT	PERTE AU ROUGE	OXYDABILITÉ EN O		CARBONE ORGANIQUE EN CO^2	AZOTE EN AzH^3		NITRATES	NITRITES	ALCALINITÉ EN CO^3Ca
			SOLUTION ACIDE	SOLUTION ALCALINE		AMMONIAQUE LIBRE OU SALINE	AZOTE ORGANIQUE			
Industrielle. . .	Laiteux.	641,5	375	194	654	2,5	41,5	2	0	»
Précipitée par la chaux.	Légèrement opalescent. . . .	165,0	64	44	112	2,5	15,4	2	0	150
Après 1er contact	Très légèrement opalescent. . .	110,0	17,6	14,4	53	0,3	4,2	8	tr.	150
Après 2e contact	*Idem*.	80,0	10,4	8,0	26	0;1	1,7	10	0	150

On peut donc facilement épurer par le procédé biologique les eaux résiduaires d'amidonnerie. Pour cela, les eaux seront conduites dans une fosse d'attente d'où un canal ou une pompe les amènera avec un débit régulier dans une série de bassins de décantation. Sur leur parcours les eaux seront additionnées

en proportion convenable de lait de chaux ou mieux, si la dépense n'est pas jugée trop forte, d'eau de chaux. Lorsqu'un bassin sera rempli, on dirigera les eaux sur le suivant. La décantation ne demande guère plus d'une heure et, après ce temps, les eaux décantées seront déversées sur un 1er lit bactérien. Après un 1er contact de 2 heures elles se rendent sur un 2e lit où elles séjourneront pendant le même temps. Elles seront alors épurées et pourront être rejetées dans les cours d'eaux sans y amener aucun trouble.

On peut aussi ne faire qu'un seul bassin de décantation de capacité suffisamment grande pour que les eaux y séjournent au moins une heure et pourvu de chicanes convenablement disposées pour que les eaux en sortent sans entraîner aucune matière en suspension. Elles seront alors déversées sur des lits bactériens percolateurs au moyen d'appareils distributeurs connus (Sprinklers, Fiddian, etc.), ou de notre siphon de chasse. On évitera ainsi la main-d'œuvre nécessitée par l'ouverture et la fermeture des vannes à heure fixe.

C. — Épuration biologique des eaux résiduaires de féculeries.

Pour extraire la fécule contenue dans les tubercules de pommes de terre, les moyens mécaniques suffisent et sont presque toujours les seuls employés industriellement.

Les pommes de terre sont lavées pour en séparer la terre. On râpe alors les tubercules dans des appareils perfectionnés de façon à dilacérer les cellules et à permettre aux grains de fécule d'en être séparés. On lave abondamment la pulpe obtenue, l'eau qui s'écoule entraîne la fécule et des débris végétaux qui sont retenus par une série de tamis très fins. On laisse décanter, la fécule se dépose, on la lave à nouveau et on la sèche.

Les eaux résiduaires de féculerie sont donc de deux sortes :

1° *Les eaux de lavage des tubercules.* Ces eaux ne contiennent que de la terre en suspension. Une bonne décantation les en débarrasse; il n'est donc pas indispensable de les épurer.

2° *Les eaux de lavage de la pulpe et de la fécule.* Ces eaux.

abandonnées à elles-mêmes, se colorent de plus en plus par suite de l'action des diastases oxydantes du tubercule sur la tyrosine qu'il renferme, puis elles deviennent la proie d'une foule de microorganismes qui les rendent putrides en dégageant des odeurs nauséabondes. De telles eaux sont très nocives pour les poissons; aussi est-il interdit de les rejeter dans les cours d'eau sans leur avoir fait subir au préalable une épuration.

Ces eaux, contenant tous les principes solubles de la pomme de terre, sont un milieu d'élection pour les microbes, milieu qui a du reste été employé en bactériologie (milieu d'Elsner pour l'isolement des bacilles coli et typhique). Leur composition moyenne, rapportée à 100 kilogrammes de tubercules, est la suivante :

Saccharose	1kg,2
Matières azotées	1kg,3
— non azotées	0kg,5
— minérales	1kg,4

On admet qu'on emploie environ en eau cinq fois le poids de tubercules travaillés; soit un mètre cube d'eau résiduaire pour 200 kilogrammes de pommes de terre, eau de lavage des pulpes et de la fécule seule.

La concentration de ces eaux en composés organiques étant relativement très considérable, nous avons trouvé nécessaire, dans les expériences relatées ci-après, de les étendre de leur volume d'eau de dilution. Au surplus, dans une installation industrielle définitive, il serait toujours facile de réaliser ce *coupage* avec l'eau de lavage des tubercules, préalablement décantée.

Nous avons opéré comme suit : 1 kilogramme de pulpe de pomme de terre bien râpée était mélangée avec de l'eau ordinaire de façon à obtenir un volume total de 10 litres. On laissait macérer le tout pendant 24 heures; après ce temps la pulpe était pressée et tout le liquide passé au travers de tamis semblables à ceux habituellement employés dans l'industrie. Un repos de 24 heures permettait d'en séparer la fécule d'une part, et, d'autre part, le liquide qu'il s'agissait d'épurer.

Ce liquide étant toujours alcalin, il était à prévoir que les

méthodes biologiques donneraient un bon résultat d'autant qu'il se trouve très rapidement envahi par les ferments microbiens lorsqu'on l'abandonne au libre contact de l'air.

Cette facile décomposition de la matière organique qu'il renferme a fait juger qu'il était inutile de faire subir à ces eaux une fermentation anaérobie en fosse septique. Cette fermentation anaérobie ne présentait aucun avantage pour l'épuration aérobie subséquente, et elle avait, en revanche, l'inconvénient grave de dégager des odeurs désagréables. Nous aurons d'ailleurs l'occasion de montrer plus loin que la décomposition des matières azotées dans les lits bactériens aérobies y est aussi rapide que la nitrification.

TABLEAU I.

Eau résiduaire de féculerie diluée de son volume d'eau.

Résultats en milligrammes par litre.

EAU	PERTE AU ROUGE		OXYGÈNE ABSORBÉ EN 4 HEURES AU PERMANGANATE		OXYDABILITÉ AU PERMANGANATE EN SOL. ACIDE		AMMONIAQUE	AZOTE ORGANIQUE EN Az H³		CARBONE ORGANIQUE EN C O²		NITRATES EN Az² O⁵
		ÉPURATION %		ÉPURATION %		ÉPURATION %			ÉPURATION %		ÉPURATION %	
Résiduaire..	2731	»	416	»	2036	»	58	320	»	2571	»	3
Effluent du												
1ᵉʳ contact.	1989	27,2	268	35,6	1180	42,1	116	220	31,3	1428	44.5	tr.
2ᵉ contact.	1424	47,9	170	49,2	770	62,2	107	162	49,4	690	73,2	10
3ᵉ contact.	883	67,7	120	71,0	397	80,5	100	83	73,5	460	82,1	25

Nous avons donc utilisé exclusivement les ferments aérobies comme destructeurs des matières organiques. Le liquide préparé comme il a été dit plus haut était déversé sur un lit bactérien. Après un premier contact de 2 heures, il était reporté sur un 2ᵉ lit où il séjournait encore 2 heures, puis sur un 3ᵉ lit pendant le même temps. Ces lits étaient constitués par des tuyaux en poterie de 0ᵐ,30 de diamètre et de 0ᵐ,80 de haut, obturés par le bas et remplis de scories de 1 centimètre environ. Leur contenance utile était un peu plus de 10 litres.

Le tableau I donne les résultats obtenus par cette méthode avec les coefficients d'épuration qui représentent la quantité

de matière détruite ou transformée pour 100 de matière organique contenue dans l'eau à épurer.

L'épuration est très manifeste, mais le travail que les microbes doivent fournir pour détruire la totalité de la matière organique est tellement considérable que nous avons pensé à l'alléger en éliminant préalablement une partie de ces substances par un précipitant chimique ([1]).

Parmi les composés chimiques employés pour l'épuration des eaux résiduaires, il n'y a guère que la chaux et le sulfate ferrique qui soient d'un prix assez modique pour ne pas constituer une trop lourde charge pour l'industriel. La chaux n'a donné qu'une précipitation très médiocre et une épuration très faible. Il n'en est pas de même du sulfate ferrique qui, ajouté à dose convenable, donne un précipité qui s'agglomère assez rapidement et laisse un liquide limpide quoique toujours coloré, la décoloration ne se faisant que partiellement.

Tableau II. — **Eau résiduaire de féculerie diluée de son volume d'eau et précipitée par le sulfate ferrique**

Résultats en milligrammes par litre.

EAU	PERTE AU ROUGE		OXYGÈNE ABSORBÉ EN 4 HEURES AU PERMANGANATE		OXYDABILITÉ AU PERMANGANATE EN SOL. ACIDE		AMMONIAQUE	AZOTE ORGANIQUE EN AMMONIAQUE		CARBONE ORGANIQUE EN CO^2		NITRATES EN Az^2O^5
		ÉPURATION %		ÉPURATION %		ÉPURATION %			ÉPURATION %		ÉPURATION %	
Résiduaire..	2547	»	419	»	2045	»	55	315	»	3210	»	tr.
Après précipitation . .	1607	36,9	220	47,7	930	54,6	39	209	33,7	852	73,5	tr.
Effluent du 1er contact.	1151	54,9	128	69,6	498	75,7	65	147	53,4	532	83,5	27
2e contact.	743	71,1	78	81,5	270	86,8	56	98	68,9	298	90,9	65
3e contact.	566	77,8	42	90,0	183	90,9	35	67	78,8	165	94,9	134

Le liquide, préparé comme celui qui avait servi aux premières expériences, était additionné de sulfate ferrique à la

([1]) Dans un rapport au Comité consultatif d'Hygiène de France (28 janvier 1884), M. le Dr Vallin a exposé les expériences instituées par la Société d'agriculture de Seine-et-Oise avec le concours de M. Rabot pour l'utilisation agricole des eaux de féculerie. Il conclut que deux solutions peuvent être im-

dose de $1^{gr},50$ par litre et laissé en repos jusqu'au lendemain. Après décantation, le liquide ainsi traité subissait trois contacts successifs sur lits bactériens aérobies.

La précipitation préalable élimine 50 % environ des matières organiques; de plus elle a le grand avantage de donner un liquide ne contenant aucune matière en suspension, ce qui est un sûr garant du bon fonctionnement des lits bactériens aérobies.

Le tableau II montre les excellents résultats ainsi obtenus. La quantité de matières organiques étant moins grande, le résidu final est très faible et nous avons constaté que l'effluent du 3e contact pouvait être mis à l'étuve à 30° en flacon pendant plusieurs jours bouché, sans produire de putréfaction sensible à l'odorat (test d'incubation).

La détermination de la perte au rouge, encore souvent employée comme évaluation de la matière organique, donne toujours un résultat plus faible que les autres déterminations : on sait en effet que la calcination volatilise et décompose un certain nombre de composés minéraux, composés qui se trouvent être les mêmes pour chaque liquide avant ou après épuration, et que si on déduisait une quantité constante pour chaque résultat, le coefficient d'épuration se trouverait très relevé. Ainsi, par exemple, supposons que la calcination ait fait perdre 100 milligrammes aux composés minéraux, et cela est certainement un minimum, car l'ammoniaque est en majeure partie à l'état de carbonate qui se volatilise, on obtiendrait :

Eau résiduaire.	2 547 — 100 = 2 447
Effluent du 3e contact	566 — 100 = 466

Le coefficient d'épuration deviendrait 81 %. Pour une perte de 200 milligrammes, il deviendrait de 84,4 %, nombre qui se

posées suivant que les usines seront agricoles ou industrielles : 1° l'épandage; 2° l'épuration par le sulfate de fer et la chaux.

L'épandage rationnel des eaux de féculerie donne en effet de bons résultats et sera toujours à recommander pour les usines disposant de grandes cultures.

Il n'en est pas de même du procédé chimique indiqué. Nous avons essayé ce procédé en employant les réactifs aux doses indiquées, soit 200 kilogrammes de sulfate de fer et 1 mètre cube de chaux pour 1000 mètres cubes d'eau à épurer; il a donné des résultats très peu satisfaisants. La précipitation était toujours très imparfaite, et la décantation, très difficile, ne donnait qu'un liquide très opalescent.

rapprocherait de ceux trouvés par les autres déterminations.

Nous avons employé aussi la méthode de détermination de l'oxygène emprunté en 4 heures, au permanganate de potasse, méthode qui, dans un laboratoire industriel, peut donner des résultats suffisants pour estimer la perte des matières organiques. Le coefficient d'épuration a été de 90 %.

Pour l'ammoniaque, il semble se produire une anomalie. On voit, en comparant les résultats, que la précipitation chimique en entraîne une partie, mais, aussitôt après le 1er contact, il y a une augmentation, quelquefois même après le 2e contact; enfin il s'ensuit une diminution très forte après le 3e contact. Si l'ammoniaque est un signe de pollution des eaux il ne s'ensuit pas que ce composé soit nocif, surtout en si petite quantité, et, dans le cas présent, c'est le terme ultime de la dégradation des composés azotés. Il n'y a donc pas lieu de s'inquiéter outre mesure si une certaine portion échappe à la nitrification. Du reste, comme ces eaux entraînent avec elles des myriades de ferments nitrificateurs, ces derniers continueront à jouer leur rôle oxydant dans les cours d'eau et, à peu de distance de l'usine, on ne retrouvera plus que des traces d'ammoniaque.

Les composés organiques azotés sont plus dangereux, car ils sont attaqués par une foule de ferments de putréfaction très nuisibles; mais on voit qu'ils sont presque complètement détruits et la petite quantité qui en reste est formée par des amides (en importante proportion dans la pomme de terre) peu nuisibles : près de 90 % en ont été éliminés.

Le carbone organique est brûlé très facilement, on n'en retrouve qu'un peu plus de 5 %.

En présence de produits ammoniacaux aussi abondants, les ferments nitrificateurs ont été très actifs et on trouve 134 milligrammes de nitrates (en Az^2O^5) formés.

La précipitation chimique préalable fournit donc un effluent très facile à épurer par les lits bactériens aérobies. Cependant, la dépense incessante de produits chimiques, la difficulté d'avoir une bonne décantation et, enfin, la question de l'évacuation des boues de précipitation, nous ont engagé à rechercher s'il ne serait pas possible d'obtenir un résultat satisfaisant en augmentant la dilution.

Sur le conseil d'un fabricant de fécule, nous nous sommes rapproché davantage de la pratique industrielle pour la préparation du liquide à épurer : 500 grammes de pommes de terre bien lavées furent râpées et la pulpe en fut étalée sur un tamis à mailles très serrées. On versait alors avec un arrosoir 10 litres d'eau sur le tamis que l'on animait d'un mouvement de va-et-vient. Les eaux étaient reçues sur un 2e tamis plus fin et abandonnées à la décantation pendant 24 heures.

Nous avons obtenu ainsi une eau résiduaire de dilution en volume double de celui de l'eau d'abord expérimentée et quadruple de l'eau industrielle. On pourrait facilement obtenir une eau semblable en mélangeant l'eau industrielle avec trois fois son volume d'une eau propre quelconque, de l'eau de rivière par exemple.

Cette eau, ainsi préparée, s'est épurée biologiquement dans de très bonnes conditions. Le tableau III établit, comme les

TABLEAU III.

Eau résiduaire de féculerie diluée de 3 volumes d'eau.

Résultats en milligrammes par litre.

EAU	PERTE AU ROUGE		OXYGÈNE ABSORBÉ EN 4 HEURES AU PERMANGANATE		OXYDABILITÉ AU PERMANGANATE EN SOL. ACIDE		AZOTE ORGANIQUE EN AzH^3		AMMONIAQUE LIBRE OU SALINE	NITRATES EN Az^2O^5
		ÉPURATION %		ÉPURATION %		ÉPURATION %		ÉPURATION %		
Résiduaire diluée	1375	»	134	»	300	»	125	»	21,0	»
Après 1er contact..	950	30,9	103	23,2	214	28,7	68	44,8	22,4	67,7
— 2e contact..	750	45,8	77	42,6	170	43,4	45	71,5	16,5	88,4
— 3e contact..	415	70,0	41	70,0	89	70,4	20,5	83,4	12,5	139,0

précédents, les moyennes de quinze jours de travail. L'effluent un peu opalescent peut être mis à l'étuve en flacon bouché sans subir de putréfaction. L'oxydation a été très active comme le montre la production très importante de nitrates.

Il était intéressant de se rendre compte de la manière dont s'opérait la destruction des composés azotés. Pour cela il suf-

lisait sur chaque échantillon d'eau résiduaire et d'effluent de chaque contact, de doser : 1° l'ammoniaque libre ou saline par distillation avec la magnésie; 2° l'azote total par le procédé Kjeldahl modifié par Ulsch; 3° l'azote amidé dans le liquide précipité par l'acide phosphotungstique. Ce réactif précipite l'ammoniaque, les peptones et les matières albuminoïdes. Une petite quantité d'ammoniaque échappe souvent à la réaction mais on en tient compte par distillation d'une portion du liquide avec la magnésie. Voici les résultats obtenus dans cette expérience, en milligrammes par litre, exprimés en ammoniaque.

	Ammoniaque		
	libre ou saline.	des amides.	des albuminoïdes et peptones.
Eau industrielle diluée.	25	52	83
Effluent du 1er contact	25	18	57
— du 2e —	17,5	11	21,5
— du 3e —	15	8	2

Les amides disparaissent d'abord très rapidement, puis les microbes s'attaquent aux matières plus complexes, qui sont, à leur tour, désintégrées.

Un tel effluent, contenant si peu de matières organiques dissoutes, et surtout non souillé de matières en suspension, peut être rejeté dans les cours d'eau sans y causer aucune contamination.

L'épuration des eaux résiduaires de féculerie se présente donc d'une façon très simple. Ces eaux, ne contenant que très peu de matières en suspension (par suite de la valeur que présentent les drèches pour le fabricant), peuvent être traitées directement sur lits bactériens aérobies. Comme elles sont très riches en matières organiques putrescibles, il est indispensable de les diluer. Cette dilution, d'après les expériences relatées plus haut, devra être de 1 partie d'eau résiduaire pour 3 parties d'eau de rivière ou de forage. Peut-être la pratique industrielle permettra-t-elle de diminuer le taux de cette dilution, mais il est recommandable de prendre, au début, ces indications pour base.

On peut admettre que les 3 contacts que subissaient les eaux au laboratoire seront avantageusement remplacés par un traitement sur lits bactériens percolateurs en employant

les appareils distributeurs connus (Sprinklers, Fidian, etc.) ou le siphon de chasse que nous avons décrit dans un chapitre précédent. Les lits seront alors établis avec 2 mètres de hauteur de mâchefer et leur surface sera calculée de manière à traiter un mètre cube d'eau par mètre carré de surface.

Des expériences industrielles sur un assez grand volume d'eau seront entreprises pendant la campage prochaine, et permettront de fixer définitivement le taux de dilution le plus convenable.

D. — Épuration biologique des vinasses de distillerie de betteraves

Les vinasses, résidu de la distillation des jus de betteraves fermentés, contiennent trop peu de matières nutritives pour être utilisées (comme le sont les vinasses des distilleries de grains) pour l'alimentation des bestiaux; de plus, elles sont toujours fortement acidifiées par l'acide sulfurique et les acides organiques de la betterave. Cependant, elles renferment des quantités appréciables d'azote, d'acide phosphorique et de potasse qui leur donnent une certaine valeur comme engrais.

Leur composition est très variable suivant la qualité des betteraves traitées et le procédé de fabrication employé; aussi les nombres donnés par les auteurs sont-ils très différents. Ainsi elles contiennent par hectolitre, d'après

	M. Hannicotte.	M. Ch. Girard.
Azote	36gr	90gr
Potasse	528gr	150gr
Acide phosphorique	139gr	20gr

Nous avons nous-même trouvé des quantités d'azote très supérieures, comme on le verra plus loin.

Il est donc naturel que l'on ait pensé à utiliser ces vinasses pour l'irrigation et c'est ce qui se pratique pour la plupart des distilleries.

Dans un rapport à M. le Ministre de l'agriculture, l'un de nous, en qualité de président de la 6e section du Comité des

études scientifiques, sur les procédés les plus recommandables pour l'utilisation des vinasses de distilleries de betteraves conclut, après enquête auprès de tous les distillateurs de betteraves de France, de la façon suivante :

« Les vinasses résiduaires des distilleries de betteraves représentent un engrais d'une très grande richesse relative en azote, potasse et acide phosphorique que la culture a le plus grand intérêt à utiliser en épandage là où elle peut le faire économiquement. L'irrigation doit être faite avec des vinasses diluées d'au moins deux parties d'eaux de lavage. Il est avantageux de laisser décanter et fermenter les vinasses diluées dans une fosse de décantation, au moins 48 heures avant d'en opérer le transfert aux champs de culture.

« Dans la majorité des cas, il semble que les terres propices à l'épandage peuvent recevoir en 100 jours, durée moyenne de chaque campagne de fabrication, environ 10 000 hectolitres par hectare. Mais il convient d'observer que ce chiffre ne représente qu'une approximation se rapportant aux terrains très perméables argilo-calcaires ou terres franches. Sur les sols argileux ou silico-argileux, il ne peut guère s'élever au-dessus de 3 à 4000 hectolitres par hectare.

« La plupart des distilleries indiquent que l'utilisation des vinasses en irrigation permet à la culture d'économiser de 20 à 40 000 kilogrammes de fumier de ferme par hectare et par an, suivant la nature des terrains. Les cultures qui s'accommodent le mieux de cet engrais sont, en premier lieu, les betteraves, puis les pommes de terre, le tabac et enfin le maïs fourrager et les prairies. Mais quelle que soit la culture adoptée, il n'est jamais recommandable d'irriguer les mêmes sols deux années de suite. Le retour de la vinasse sur les mêmes terres, malgré un assolement régulier, amène très vite, soit la diminution des coefficients de pureté des jus de betteraves, soit la verse des céréales, soit le développement intense des plantes acides (rumex, oseille sauvage, etc.). On doit donc s'efforcer de n'irriguer sur un même champ que tous les trois ans environ. »

Ces conditions pour une bonne utilisation des vinasses peuvent être souvent facilement remplies par les distilleries agricoles situées à proximité des terres qui leur fournissent

les betteraves, mais pour les distilleries industrielles le problème est plus difficile à résoudre.

En effet, une usine d'une certaine importance, travaillant 225 tonnes de betteraves par jour, doit évacuer, pendant le même temps, environ 400 mètres cubes de vinasses. La durée de la campagne étant de 80 à 100 jours on a donc à pourvoir à l'évacuation de 32 000 à 40 000 mètres cubes. L'irrigation ne devant se faire que tous les trois ans au plus et dans les meilleures conditions de terrains, à raison de 1000 mètres cubes par hectare et par an, on voit que cette irrigation nécessite de 96 à 120 hectares de terres qui, pour éviter les frais assez considérables de canalisation, doivent se trouver à proximité de l'usine. Par suite de l'accroissement des agglomérations, les terres faciles à irriguer sont souvent difficiles à trouver, aussi, certains distillateurs doivent-ils se résoudre à évacuer leurs vinasses soit dans des puits perdus, soit dans les cours d'eau. Le déversement dans les cours d'eau étant interdit, il y aurait lieu de chercher les moyens propres à obtenir une épuration suffisante pour que l'interdiction soit levée.

Les vinasses de distilleries de betteraves renferment tous les produits plus ou moins solubles de la betterave, sauf le sucre qui a fermenté. Certaines de ces matières solubles sont coagulées pendant la fermentation ou pendant la distillation. De plus, il y a toujours, par tous les procédés d'extraction des jus de betteraves, entraînement de pulpes folles. Enfin les vinasses contiennent les levures qui ont opéré la fermentation. Il y a donc une proportion de matières en suspension assez importante, d'autant plus à considérer que ces matières se déposent assez difficilement et qu'après 24 heures elles occupent environ le cinquième du volume.

Pour réaliser l'épuration des vinasses, il faut séparer les matières en suspension et éliminer la presque totalité des matières en solution.

La précipitation chimique résout bien la première partie du problème, mais pour la seconde elle est de peu d'efficacité. La chaux, précipitant le meilleur et le plus économique, mise en léger excès, donne un liquide qui filtre limpide mais qui est encore très putrescible, car l'alcalinité même a redissous

une partie des composés azotés qui s'étaient précipités en solution acide pendant la distillation.

Il faut donc donner la préférence aux procédés biologiques, mais ici encore, si on veut traiter les vinasses aussitôt leur sortie de l'usine, il paraît indispensable d'en séparer, par la précipitation au moyen de la chaux, toutes les matières en suspension, car ces matières ne tarderaient pas à colmater les lits bactériens et empêcheraient l'accès de l'air qui doit fournir aux ferments l'oxygène dont ils ont besoin pour oxyder la matière organique.

C'est ce que nous avons essayé de réaliser pendant la campagne dernière dans une distillerie des environs de Lille. Or, nous avons pu nous rendre compte que la décantation des vinasses traitées par la chaux est lente; de plus, l'alcalinité due à la chaux se trouve saturée plus ou moins rapidement par l'acide carbonique de l'air, ce qui trouble encore le liquide, aussi avons-nous été contraint de passer celui-ci au filtre-presse. Cette manipulation est coûteuse; elle exige un matériel assez important, si bien que nous y avons renoncé, mais, malheureusement, la campagne était terminée. Nous avons pu cependant continuer ces essais au laboratoire, sur un petit volume, il est vrai, mais les résultats en sont suffisamment concluants pour que nous n'hésitions pas à les exposer ici. Ils seront du reste, pendant la campagne prochaine, soumis à l'épreuve de la pratique industrielle.

Nous recommandons de laisser décanter et fermenter les vinasses diluées dans une fosse de décantation pendant au moins 48 heures avant d'opérer l'irrigation sur les champs de culture. En effet, et nous avons pu le constater dans une distillerie des environs de Lille où se pratique l'épandage après décantation, lorsque les vinasses même non diluées sont mises dans de grandes fosses et que leur température est inférieure à 40°, elles ne tardent pas à fermenter énergiquement. L'acidité disparaît rapidement pour faire place à une alcalinité très forte et même, quelquefois, on peut constater un dégagement de vapeurs ammoniacales. Cette fermentation ne peut s'établir que lorsque presque toute l'acidité des premières parties de vinasses admises dans les fosses a été neutralisée par la terre qui forme les parois de ces fosses, car les vinasses

recueillies aussitôt après distillation peuvent se conserver très longtemps étant très acides. Ces ferments ammoniacaux se trouvent du reste toujours en grande abondance dans la terre et dans les fumiers.

Nous avons essayé, dans une petite cuve en verre, de reproduire cette fermentation au laboratoire. Les résultats obtenus ont été très bons chaque fois que nous avons pris soin de neutraliser l'acidité soit par la terre, soit par du carbonate de chaux et un peu de terre pour ensemencer, soit encore avec de la boue des fosses septiques de notre installation expérimentale de la Madeleine. Nous avons observé cependant un retard appréciable du départ de la fermentation avec les vinasses employées, car ces vinasses contenaient des composés fluorés, mais on verra plus loin que le résultat final fut le même.

Comme il est recommandé pour l'épandage et, plus encore pour l'épuration bactérienne, il est indispensable de diluer les vinasses; car, sans dilution, le travail imposé aux ferments oxydants serait trop considérable. Tous les essais relatés ci-après ont été effectués avec une dilution de un volume de vinasse pour quatre volumes d'eau ordinaire.

Nous avons établi au laboratoire des fosses septiques dans des cuves en verre de 10 litres de capacité avec tubulure inférieure. Cette tubulure est fermée par un bouchon traversé par un tube coudé à l'intérieur de la cuve de façon à ne pouvoir en retirer que la moitié environ du liquide. Tous les jours on prélevait 5 litres de liquide que l'on remplaçait aussitôt dans la cuve par 5 litres de dilution fraîche.

Les 5 litres ainsi prélevés étaient déversés sur un lit bactérien analogue à ceux que nous avons décrits précédemment [1]. Après un premier contact de deux heures, ils étaient reportés sur un deuxième lit où ils séjournaient encore deux heures, puis sur un troisième lit pendant le même temps.

Le tableau suivant donne les moyennes des résultats obtenus, pendant quinze jours, pour chacune des trois séries d'expériences. La température dans les fosses septiques a seule varié, les lits bactériens étaient placés dans une salle

[1] Épuration biologique des eaux résiduaires de féculerie (pages 252 et suiv.).

non chauffée et sensiblement à 10-12°. Ce tableau indique la détermination de l'oxygène absorbé au permanganate en quatre heures, méthode simple et rapide qui pourra être employée facilement à l'usine pour suivre l'épuration obtenue. Il indique aussi l'oxydabilité au permanganate de potasse en solution acide. Nous n'avons pas effectué ces déterminations pour les dilutions de vinasses car elles con-

Résultats en milligrammes par litre.

	OXYGÈNE ABSORBÉ EN HEURES	OXYDABILITÉ EN OXYGÈNE EN SOL. ACIDE	AMMONIAQUE LIBRE OU SALINE	AZOTE ORGANIQUE EN AzH^3	NITRATES EN Az^2O^5
Vinasses diluées au cinquième. . . .	—	—	25,0	510,0	—
Fermentation en fosse septique à 25-28°.					
Effluent de la fosse septique	140,6	440	146,0	53,0	—
— du lit de 1er contact	84,4	200	75,0	46,0	59,0
— — 2e —	37,2	98	35,0	25,0	112,0
— — 3e —	22.4	26	13,0	17,0	207,0
Fermentation en fosse septique à 20°.					
Effluent de la fosse septique	166,0	430	72,0	101,0	—
— du lit de 1er contact.	138,0	270	41,0	62,6	20,5
— — 2e —	45.0	154	16,6	36,0	45,5
— — 3e —	24,0	47	7,6	23,0	68,0
Fermentation en fosse septique à 10-12°.					
Effluent de la fosse septique	193,0	414	45,6	69,0	—
— du lit de 1er contact.	128,0	368	25,4	54,0	6,0
— — 2e —	65,0	176	8.7	23,6	15.0
— — 3e —	25,8	60	5,8	14,0	25,0

tiennent, comme il a été dit plus haut, des matières en suspension, ce qui rend ces dosages impossibles à faire d'une façon rigoureuse. Les dosages de l'ammoniaque libre ou saline, de l'organique et des nitrates permettent de se rendre compte de l'évolution des composés azotés. C'est surtout l'examen de ces derniers résultats qui nous retiendra principalement.

La moyenne de plusieurs analyses de dilutions de vinasses a donné par litre

Ammoniaque libre ou saline.	25	milligrammes.
Azote organique soluble.	86	—
— — en suspension	224	—

Il faut se rappeler que ces quantités sont variables, suivant les betteraves traitées et le mode de travail de l'usine.

Pendant le séjour en fosse septique les composés azotés complexes sont attaqués par les ferments qui les détruisent progressivement pour arriver au terme ammoniaque. Cette désintégration des composés azotés est beaucoup plus rapide à une température plus élevée ; c'est ce qu'on remarque facilement par l'examen des chiffres placés au tableau ci-contre, aussi, la totalité des composés azotés dissous était, comptée en ammoniaque par litre :

Dans la dilution.	109mgr
Après séjour en fosse septique à 25-28°. .	199mgr
— — à 20° . . .	175mgr
— — à 10-12°. .	114mgr,5

Les quantités d'ammoniaque formée vont aussi en croissant à mesure que la température s'élève.

Elles étaient dans la dilution de	25mgr	par litre.
Après séjour en fosse septique à 25-28°. .	146mgr	—
— — à 20°. . .	72mgr	—
— — à 10-12°. .	45mgr,6	—

Il n'y a pas grand intérêt à chercher à obtenir une trop grande dissolution et décomposition des composés azotés en suspension car, d'une part, pour atteindre ce but il faut que la fermentation s'opère à une température à laquelle il se dégage déjà des odeurs désagréables, et, d'autre part, comme toute la partie insoluble restée dans les fosses pourra être transportée après la campagne sur les terres pour servir à l'engrais, il est inutile de la perdre. Il convient donc de s'en tenir à la température moyenne de 20° qui permettra une décomposition suffisante des composés solubles pour que l'oxydation soit facile dans les lits bactériens.

Cette quantité relativement très grande d'ammoniaque produite dans les fosses septiques est nitrifiée très énergiquement dans les lits bactériens et on peut dire que la quantité de nitrates formés est d'autant plus grande que le liquide contient moins de matières azotées complexes.

Sauf pour les liquides provenant des fosses septiques à

10-12° les effluents étaient toujours imputrescibles et on pouvait les conserver à l'étuve à 30° pendant toute une semaine sans qu'il s'y déclarât la moindre odeur de putréfaction. Au contraire, la matière organique qui restait en petite quantité continuait à s'oxyder aux dépens de l'oxygène dissous et des nitrates, et le liquide devenait plus limpide.

Il ne serait guère pratique industriellement de traiter ces eaux par le procédé de contact, comme nous l'avons fait au laboratoire; aussi est-il recommandable, et nous en avons l'expérience, d'employer le procédé par percolation qui exige beaucoup moins de terrain, ne demande aucune main-d'œuvre, et donne des résultats aussi bons, sinon le plus souvent meilleurs.

Voyons maintenant comment on pourrait comprendre l'installation d'épuration de vinasses pour l'usine dont nous avons parlé, usine évacuant 400 mètres cubes de vinasses par jour[1] (*fig.* 41 et 42).

Les vinasses diluées de quatre fois leur volume d'eaux de lavage des betteraves ou autres, seront déversées (coupe CD) dans un grand bassin limité par des talus en terre où elles se débarrasseront des matières en suspension et où elles subiront spontanément la fermentation alcaline. La température du mélange sera environ de 20°. Ce bassin aura une capacité telle qu'il puisse contenir les dilutions de cinq jours de travail. En effet, les vinasses contiennent environ 1/5 de leur volume en boues (très liquides il est vrai, mais que l'on ne peut admettre sur les lits bactériens) et, par la dilution, le dépôt sera de 1/25 du volume. Comme la campagne de fabrication dure environ 100 jours, si on ne donnait pas au bassin une suffisante capacité, celui-ci serait très rapidement rempli de boues qu'il serait très difficile d'évacuer pendant la fabrication. Donc, pour notre exemple, la capacité du bassin sera de 400 mètres cubes (vinasses) $\times$ 5 (dilution) $\times$ 5 (jours) $=$ 10 000 mètres cubes. On aura avantage, pour amorcer la fermentation, à mettre au fond de ce bassin, au début de la fabrication, un peu de fumier. A l'extrémité du bassin on

[1] Nous devons le plan d'installation ci-joint à M. Le Noan, conducteur des Ponts et Chaussées, qui nous a toujours prêté un concours dévoué et que nous sommes heureux de remercier une fois de plus.

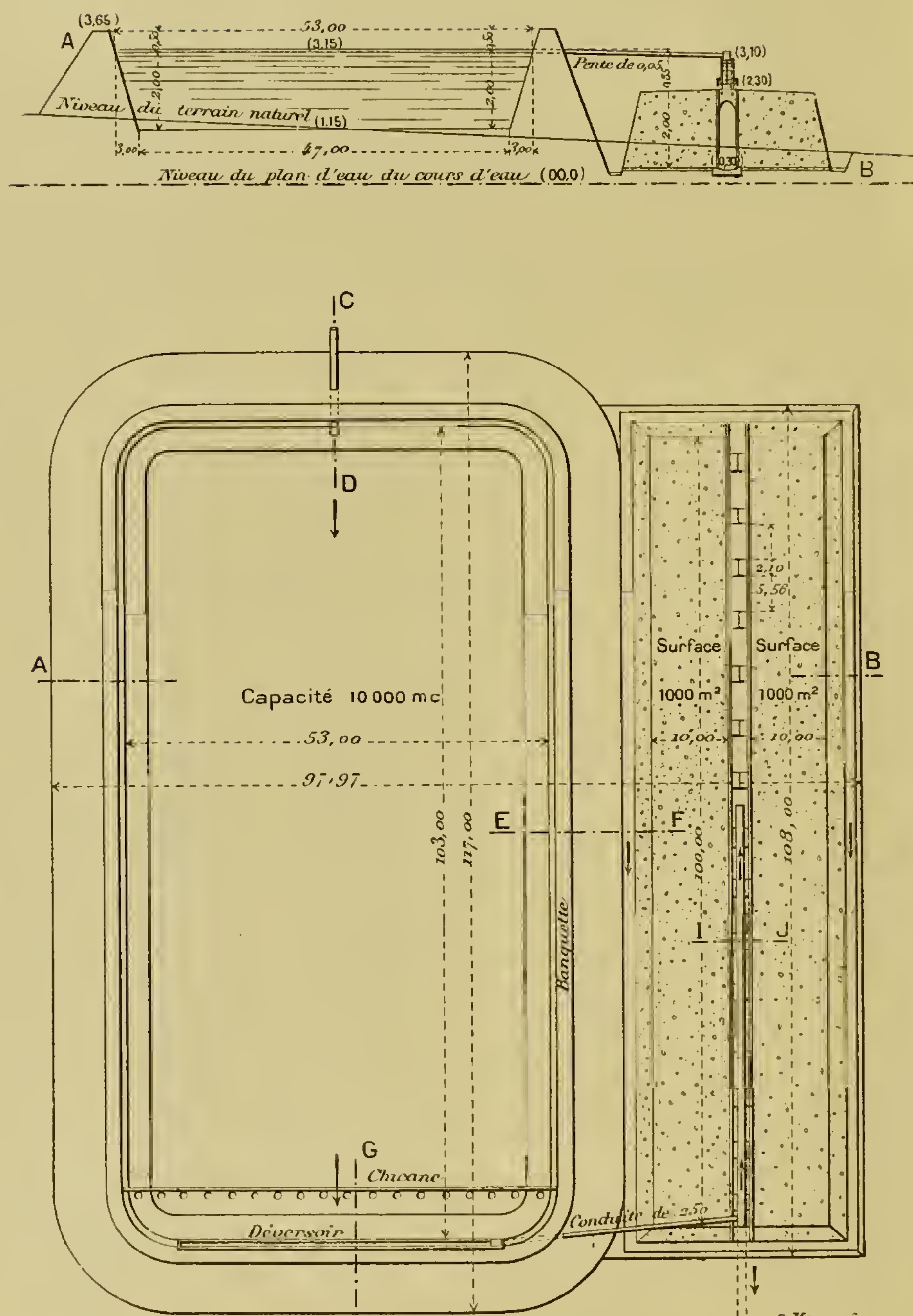
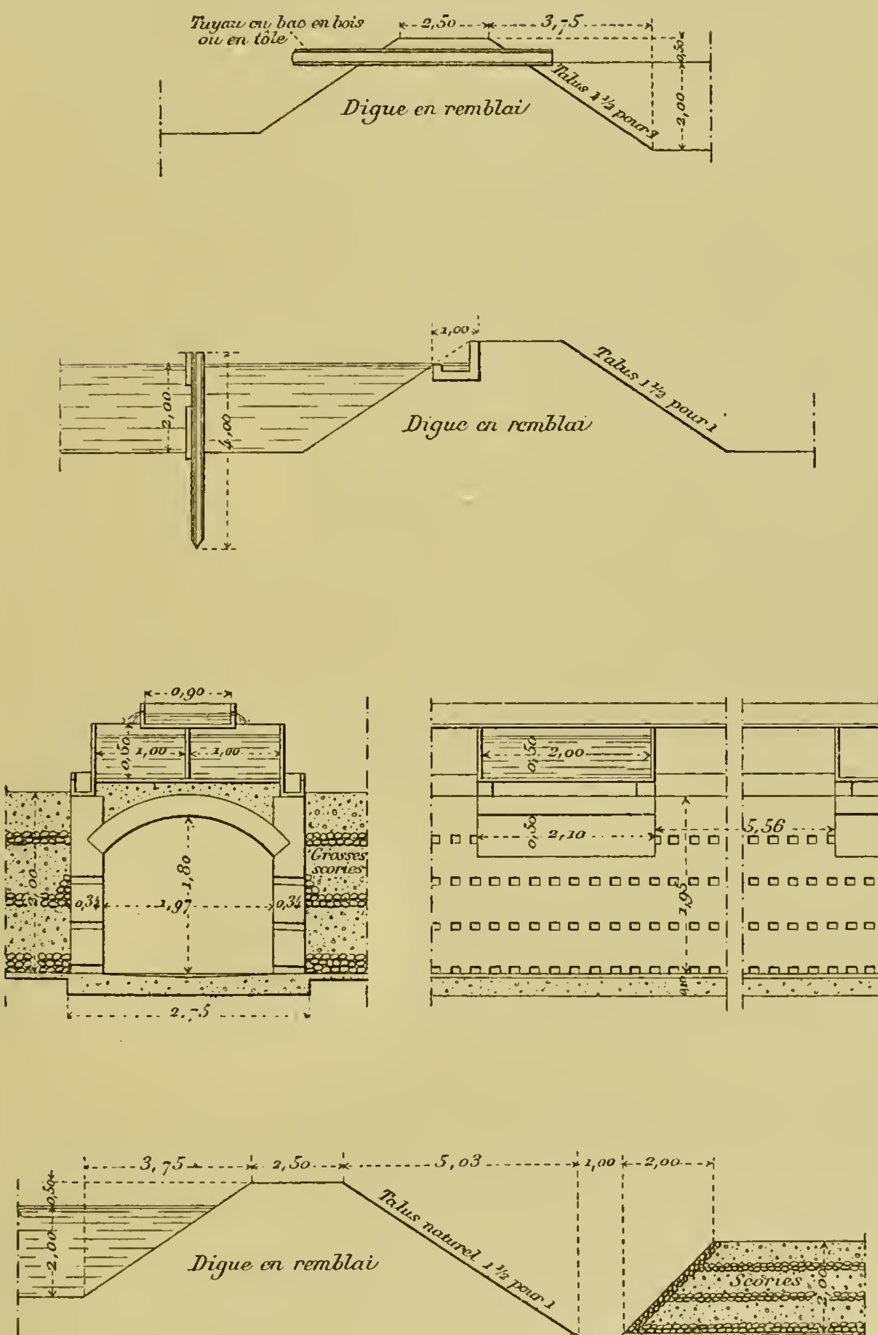


Fig. 11 et 12. — Dispositifs pour l'épuration biologique



des vinasses de distilleries de betteraves.

placera un barrage en bois permettant de retenir les boues du fond et les matières flottantes (coupe GH).

Les eaux fermentées sortiront de ce bassin par un déversoir et tomberont dans un canal qui les conduira dans la rigole de distribution qui alimente les réservoirs de chasse intermittente placés de chaque côté et supportés par une maçonnerie sur toute la longueur des lits. Il faudra 50 réservoirs de 800 litres avec siphons de chasse automatique. Pour un débit de 2000 mètres cubes par jour chaque siphon de chasse fonctionnera tous les quarts d'heure et se videra en une minute.

Les lits bactériens auront 100 mètres de long sur 10 mètres de large de chaque côté de la ligne des réservoirs de chasse. Ils seront formés de scories disposées de la façon suivante du fond à la surface :

Grosses scories	. . . .	hauteur.	25	centimètres.
Petites —	. . . .	—	50	—
Grosses —	. . . .	—	20	—
Petites —	. . . .	—	45	—
Grosses —	. . . .	—	15	—
Petites —	. . . .	—	45	—

Les petites scories n'auront pas moins de 1 centimètre de côté, et seront comme les grosses soigneusement criblées et débarrassées de poussières (¹).

Les lits se termineront en talus (ce qui évitera la construction de murs de soutien), au bas desquels un caniveau collectera les eaux épurées (coupe EF).

Dans le but de faciliter l'aération dans les lits, les murs supportant les réservoirs seront percés d'ouvertures (coupes IJ et KI).

La surface exigée par cette installation est d'environ un hectare.

Il est évident que si cela était utile, les eaux épurées pour-

(¹) Cette disposition nous semble la meilleure, mais on pourrait se contenter, croyons-nous, comme nous l'avons dit précédemment, de disposer au fond environ 50 centimètres de grosses scories et 1m,70 de scories tout-venant soigneusement débarrassées de poussières. Il serait aussi avantageux dans les deux cas de drainer les lits à partir de la moitié de leur largeur, les drains étant espacés de 1 à 2 mètres; drains formés de pannes faîtières, perforées ou non, mises bout à bout.

raient facilement se rendre dans un bassin où elles seraient reprises pour servir au lavage des betteraves.

Lorsque les terrains auront une pente suffisante, il sera avantageux d'établir le bassin à une hauteur telle qu'on puisse le vider facilement en fin de campagne, et diriger sur les lits bactériens les eaux décantées qu'il renfermait.

APPENDICE

I

RÉGLEMENTATION ANGLAISE RELATIVE A LA POLLUTION DES RIVIÈRES

Les « *Rivers pollution Prevention Acts* 1876 *et* 1893, *et Public Health* (*Amend*) 1890 » interdisent le déversement ou l'apport dans les cours d'eau de toute matière excrémentielle ou résiduaire solide ou liquide. Si les matières sont déversées dans un canal en service ou en construction, la personne en faute ne sera pas considérée comme ayant contrevenu, pourvu qu'elle prouve à la cour qu'elle a employé tous les moyens pratiques pour purifier le sewage. Lorsque le canal dans lequel s'écoule le sewage est classé dans les *acts* sanitaires, aucune contravention n'est commise par la personne qui y déverse des eaux résiduaires par un drain communiquant avec un égout placé sous le contrôle des autorités, et qui a obtenu l'agrément de celles-ci.

PART III. — *Sec. 4. — Pollution par les résidus des manufactures et des mines.*

Il est expressément interdit de déverser dans un cours d'eau aucune substance toxique, nuisible ou malpropre, solide ou liquide, provenant d'une industrie quelconque ou d'une mine. Si la personne incriminée peut prouver qu'elle a employé les meilleurs moyens utilisables pour rendre les liquides inoffensifs, elle n'est pas tenue pour coupable.

Les procès-verbaux sont dressés seulement par une autorité sanitaire et alors, seulement, avec la permission du *Local Government Board*. Si quelque personne intéressée adresse une réclamation aux autorités sanitaires, et si celles-ci refusent

de faire une enquête, elle peut recourir au *Loc. Gov. B.* qui, après enquête, donne aux autorités sanitaires l'ordre de verbaliser. En faisant droit, ou en refusant de faire droit aux réclamations, le *Loc. Gov. B.* doit avoir en vue les intérêts industriels en présence et les circonstances ou les besoins locaux. Lorsque le district est le siège d'une industrie, le *Loc. Gov. B.* doit refuser de donner suite à la plainte seulement lorsqu'il est démontré, après enquête, que tous les moyens praticables et efficaces, dans les circonstances dont il s'agit, ont été employés pour rendre les déversements inoffensifs, et qu'aucun dommage matériel ne peut frapper l'industrie dont il s'agit par l'effet des procès-verbaux.

Sec. 7. — Les autorités sanitaires du district règlent les conditions dans lesquelles les déversements de résidus de manufactures peuvent être effectués, sous leur contrôle, dans les égouts. Les autorités sanitaires ne doivent jamais tolérer les déversements de liquides capables de détériorer les égouts ou capables de réduire la capacité d'épurabilité du sewage soit par le sol, soit pour la vente des résidus, ou du fait de leur température, etc... ou de leur nocivité au point de vue sanitaire. Les autorités sanitaires n'ont aucune permission à accorder si les égouts sont seulement suffisants pour les besoins du district.

Sec. 8. — Toute autorité sanitaire a le pouvoir de renforcer les prescriptions de cet acte lorsqu'il s'agit d'un cours d'eau traversant une partie du district. Elle peut dresser procès-verbal à toute personne qui cause une pollution du cours d'eau, même lorsque la pollution est produite en dehors du district.

Sec. 10. — La juridiction compétente est la cour du Comté, avec appel à la Haute Cour de justice.

Sec. 12. — Un rapport émanant d'un inspecteur commissionné par le *Loc. Gov. B.*, et attestant que les moyens employés pour épurer le sewage sont les meilleurs ou les seuls praticables et efficaces dans les circonstances actuelles, doit être admis comme suffisant pour arrêter ou empêcher toute poursuite. Un tel certificat n'est valable que pour une durée maxima de deux années; il peut être renouvelé pour une période égale ou plus courte. L'applicant paie toutes les

dépenses afférentes audit certificat. Toute personne molestée ou lésée par la délivrance de ce certificat peut en appeler au *Loc. Gov. B.*, qui confirme, rejette ou modifie la décision de l'inspecteur.

Sec. 15. — Aucun procès-verbal ne peut être dressé sans que, depuis deux mois, un avis indiquant l'intention de verbaliser ait été notifié à l'intéressé. Aucun procès-verbal ne peut être dressé de nouveau tant que les effets d'un procès-verbal précédent relatif à la même contravention persistent.

Sec. 20. — L'expression « *Matières solides* » ne comprend pas les particules de matières qui restent en suspension dans l'eau.

Une coloration inoffensive de l'eau n'est pas une « *pollution* ».

Sec. 47. — *Pub. Health Act* (*Amend*) 1890. — Il est interdit à quiconque de jeter ou de placer, ou de permettre de jeter ou de placer dans toute rivière, cours d'eau ou ruisseau, des cendres, scories, briques, pierres, décombres, poussières, ordures ou d'autres matières susceptibles de causer quelque gêne. Peine : 40 *shillings* pour chaque contravention.

*
* *

L'exécution des prescriptions des *Rivers Pollution Prevention Acts* est principalement du ressort des *Medical officers of Health* et, spécialement dans les comtés où les mines de charbon, les brasseries ou les manufactures sont nombreuses, ce n'est point une sinécure !

Le Conseil du Comté peut *obliger* les autorités sanitaires de district à faire épurer des eaux résiduaires nuisibles aux cours d'eau dans le district ou en dehors de celui-ci. Si les autorités sanitaires n'obéissent pas, le Conseil du Comté en appelle à une Cour du Comté qui examine la question et fixe un délai pour l'adoption de moyens d'épuration. Appel peut être interjeté à un tribunal supérieur contre la décision de cette Cour.

Les méthodes adoptées pour l'épuration peuvent être *quelconques*, mais la table suivante donne les titres fixés par les commissaires de surveillance de pollution des rivières. Ils

recommandent qu'aucun effluent donnant des titres plus élevés ne soit toléré dans les cours d'eau.

		Pour 1000
Matières en suspension.	Organiques sèches. . .	0,01
	Minérales sèches	0,03
Matières dissoutes . . .	Carbone organique. . .	0,02
	Azote organique	0,003
Métaux (excepté calcium, magnésium, potassium ou sodium).		0,02
Arsenic		0,0006
Chlore (libre après addition d'acide sulfurique) . .		0,01
Soufre (en sulfate).		0,01
Acidité (en acide chlorhydrique)		0,02
Alcalinité (en soude caustique).		0,01
Matières huileuses (pétrole ou huiles)		0,0005
Couleur : aucune couleur, lorsqu'on examine sur un fond blanc l'eau à travers une épaisseur d'un pouce ($0^m,0254$).		

Les autorités sanitaires sont autorisées par le *Loc. Gov. B.*, à limiter autant que possible leurs exigences, en ce qui concerne les sewages des mines et des grandes industries. Elles n'ont pas à exiger l'épuration *avant le rejet dans un égout*, mais on doit alors traiter la totalité du sewage à la sortie de l'égout.

Le sewage industriel ne peut, bien entendu, être admis dans les égouts que s'il n'est pas susceptible de détériorer les canalisations ou de diminuer la valeur des résidus du sewage comme engrais.

Les principales industries qui polluent les cours d'eau sont : les mines de charbon, où se fait le lavage du charbon, les fabriques d'ammoniaque. les papeteries, imprimeries, huileries et distilleries.

II

SIPHON DE CHASSE PARENTY [1]

Le siphon de chasse Parenty a pour but de retenir pendant un certain laps de temps, dans un bief déterminé ou dans un

[1] Note de M. Parenty, directeur des Manufactures des tabacs de Lille.

réservoir de chasse, un volume d'eau limpide ou contaminée qui s'y déverse d'une manière continue ou intermittente, et de le déverser ensuite au niveau du fond de ce bief ou de ce réservoir.

Il se compose d'un siphon dont l'une des branches A plonge dans le bassin de chasse, et dont l'autre B est habituellement obturée par une cuvette conique D accrochée à deux chaînes enroulées sur les gorges de poulies circulaires fort sensibles et disposées symétriquement (*fig.* 7, n° 1). Les chaînes supportant les contrepoids destinés à faire équilibre à cette cuvette, s'enroulent d'autre part sur les gorges de deux poulies spirales accollées aux précédentes.

On peut encore, comme dans la figure 7, n° 2, accrocher la cuvette à l'extrémité d'un levier coudé portant à son autre extrémité le contrepoids P, dont le mouvement peut ainsi se régler pour équilibrer la cuvette dans toutes ses positions d'ascension et de descente.

Au repos, la cuvette D occupe la position haute indiquée en pointillé. Les contrepoids, dont les mouvements sont solidaires de celui de la cuvette, sont au contraire en bas de la course et agissent sur le plus petit rayon de la came spirale. Au fur et à mesure que l'eau s'élève dans le bassin de chasse, le niveau du liquide s'élève dans la cuvette d'une même quantité jusqu'au point où l'eau ayant atteint dans le bassin de chasse le niveau supérieur assigné, la cuvette prend un poids suffisant pour rompre l'équilibre. Elle descend alors dans la portion inférieure du bassin d'évacuation, et le bassin de chasse se vide jusqu'à un niveau tel que l'affaiblissement de la force vive du liquide qui s'écoule permette au contrepoids, agissant à ce moment sur le plus grand bras de levier de la came spirale, de ramener la cuvette à sa position haute. En résumé, la force vive du débit s'emmagasine pendant la chasse sous forme d'un potentiel. L'accroissement du bras de levier du contrepoids fournit ainsi la force nécessaire au relèvement de la cuvette.

En disposant de la valeur des contrepoids et de l'excentricité des cames (n° 1), ou bien de l'angle d'écartement des bras du levier coudé (n° 2), le constructeur peut faire varier absolument à sa guise les niveaux correspondant aux départs

ascendant et descendant de la cuvette, et mettre le jeu du mécanisme à l'abri des variations qu'un manque d'entretien ou de graissage peut apporter aux frottements et résistances passives. La cuvette d'un appareil bien réglé doit descendre quand le niveau du bassin de chasse est inférieur de quelques centimètres au bord de cette cuvette dans sa position haute, et remonter quand ce niveau est encore de quelques centimètres supérieur au bord de cette cuvette dans sa position basse.

En outre, pour éviter, tant à la descente qu'à la montée, une accélération négative et un point mort, il convient de proportionner les variations des mouvements du contrepoids et des forces actionnant verticalement la cuvette. Ces forces sont, d'une part, le poids de son métal et de l'eau qu'elle renferme, diminué de la réaction de l'eau du puisard R où elle plonge partiellement, et, d'autre part, la force vive du débit proportionnelle à la dénivellation. Il convient même de donner à chaque instant une légère prépondérance au *moment* de celui des deux corps qui entraîne l'autre. Ce calcul rigoureux de la forme et des dimensions du mécanisme supprime les tâtonnements du réglage, et assure indéfiniment une grande douceur aux fonctions.

Pour amorcer une première fois le siphon, il suffit d'élever le plan d'eau supérieur du bassin de chasse de quelques centimètres au-dessus du coude inférieur du siphon formant ainsi déversoir, et de faire ensuite basculer à la main la cuvette D ; l'écoulement ainsi provoqué entraîne l'air et amorce du premier coup le siphon. Chaque chasse successive maintient et améliore cet amorçage.

Il est du reste absolument évident que la vitesse d'alimentation du réservoir de chasse n'intervient en rien dans ce fonctionnement. La hauteur seule du liquide provoque automatiquement l'ouverture et la fermeture du siphon. Il est à remarquer, en outre, que la cuvette peut remonter à sa position haute pour une vitesse d'alimentation du bassin de chasse tout à fait considérable, telle que serait celle d'un cours d'eau de moyenne importance. L'usage de l'appareil, est en un mot, complètement général et indépendant de la vitesse d'alimentation, ce qui le différencie de tous les autres systèmes, sans

exception. De plus, ne contenant aucun tube auxiliaire ou amorceur de petit diamètre, il ne peut s'engorger et doit être exclusivement employé quand il s'agit d'utiliser des eaux contaminées. Enfin, on a jugé indispensable d'en mettre complètement en évidence tous les organes sur ailes, de façon à en vérifier, au besoin, le parfait état et le fonctionnement irréprochable.

Lorsqu'il s'agit du nettoyage d'un radier d'égout, il peut être avantageux de déverser directement le liquide sur le radier.

Dans ces conditions, on perd la hauteur du seau, dont le fond, dans sa position basse, doit être placé à quelques centimètres au-dessus de ce radier. C'est ainsi que, pour abaisser de 60 centimètres le plan d'eau supérieur d'un réservoir de chasse, on doit placer le radier à $1^{m},20$ au contre-bas de ce plan d'eau. Cette perte de hauteur ne saurait être évitée par les siphons de chasse à amorçage intermittent, car tous exigent, au-dessous du plan d'eau inférieur, un emplacement plus ou moins élevé destiné à loger la tuyauterie d'évacuation.

En vérité, l'amorçage intermittent du siphon ne peut se produire automatiquement que par la compression d'une colonne d'air, qui doit être plus élevée que la colonne d'eau qui produit cette compression, c'est-à-dire que la hauteur utile du réservoir de chasse. Avec le siphon Parenty, il est aisé de faire disparaître cette perte de hauteur en dissimulant la cuvette basse dans un puisard R de même hauteur que cette cuvette (*fig.* 7, n° 2); mais alors il convient de substituer à la spirale de rayons croissants une spirale de rayons décroissants avec l'abaissement de la cuvette qui, lorsqu'elle est plongée dans le puisard R, arrive à perdre la plus grande partie de son poids, et n'est maintenue dans cette position inférieure que par la force vive du liquide sortant.

On peut encore, pour des siphons destinés à fonctionner à l'air libre, substituer à la spirale un simple levier coudé dont les bras de levier se relèvent (*fig.* 7, n° 2).

On a résolu pour la première fois, par cet artifice, le problème d'abaisser le plan d'eau d'un bassin de chasse à la hauteur précise du plan d'eau supérieur d'un autre bassin qui

lui fait suite, ou à la surface d'un lit bactérien qui doit être arrosé par les eaux de la chasse.

Cette possibilité d'utiliser, sans aucune perte, toute la hauteur dont on dispose pour l'établissement des lits bactériens rend le dispositif Parenty supérieur à tous les autres pour la région du Nord de la France, où cette hauteur est généralement très faible et parfois insuffisante.

Mais nous devons signaler en dernier lieu un autre avantage de premier ordre qui est de donner, dès le début de chaque chasse, une vitesse considérable au liquide.

Nous citerons une expérience fort simple, permettant de mettre en évidence et de préciser cet avantage que présente l'amorçage continu des appareils de chasse sur leur amorçage intermittent, au point de vue du rendement de la dépense.

*
* *

L'appareil fonctionnant normalement, avec amorçage préalable, débite 6 mètres cubes en une minute (modèle de 300 millimètres).

Il peut également s'amorcer par un basculement à la main. Dans ce cas, l'air supérieur est chassé progressivement et les 6 mètres cubes sont évacués en deux minutes seulement.

Un diagramme très clair permet de comparer la valeur de ces deux chasses. Sur un axe horizontal nous portons le temps, et sur un axe vertical les dépenses à la seconde exprimées en litres. La courbe des dépenses par rapport aux temps est ainsi figurée dans le premier cas par une droite AB inclinée sur les deux axes. La dépense initiale est de 200 litres et la dépense moyenne est de 100 litres. Il est facile de voir, de plus, que la surface OAB peut représenter le volume total du bassin, le trapèze OAM 30″ le volume vidé après trente secondes, et le triangle MB 30″ ce qui reste à vider. Donc la chasse, très abondante dès le début, produit un vigoureux mascaret et le liquide remplit instantanément l'extrémité de toutes les rigoles d'irrigation placées à la surface du lit bactérien : après trente secondes on a vidé les trois quarts du bassin, soit 4 mètres cubes et demi.

Dans le second cas, où le siphon s'amorce par l'effort et pen-

dant le temps de la chasse, le diagramme de la chasse est un triangle OM'B' de base double et, par suite, de hauteur moitié moindre, puisque la surface de ce triangle représente encore le même volume total du bassin de chasse.

La dépense va donc croissant jusqu'à un maximum de 100 litres seulement, qu'elle atteint après quatre-vingt-dix secondes, alors que les trois quarts du bassin ont été vidés dans des conditions désavantageuses.

La chasse est fort peu abondante dès le début, et pour ainsi dire, décapitée. Le mascaret est complètement supprimé.

III

RÉGULATEUR DE DÉBIT, SYSTÈME PARENTY, DE 250 MÈTRES CUBES PAR JOUR, DE L'INSTALLATION EXPÉRIMENTALE DE TOURCOING (TYPE RÉGULATEUR A DÉVERSOIR).

Le liquide doit traverser l'orifice annulaire (*fig.* 45) E compris entre un logement cylindrique vertical de 20 centimètres de diamètre et une lame F de 18 centimètres de diamètre, horizontale et suspendue à l'extrémité d'un fléau de balance H. Cette lame est soumise sur les deux faces aux pressions qui définissent le débit à travers l'anneau périphérique E ; elle s'élève donc quand le débit diminue, et s'abaisse quand il augmente, démasquant et obturant un orifice I placé dans un plan inférieur, et qui alimente un déversoir placé à l'aval de l'appareil.

L'équilibrage de la soupape s'obtient par le principe des vannes cylindriques. Que l'on suppose une vanne cylindrique verticale K limitée par une paroi d'épaisseur nulle, enfin reposant sur un siège cylindrique L de même diamètre qu'elle, les niveaux amont et aval seront à ciel libre et n'interviendront pas dans l'équilibre de cette vanne. Ici j'ai réalisé l'idéal d'une vanne cylindrique d'épaisseur mathématiquement nulle ou donnant une surface identique MM' aux deux niveaux libres ; la vanne a donc deux surfaces de sections égales MM', intérieure M pour le niveau libre amont de l'orifice réglable, exté-

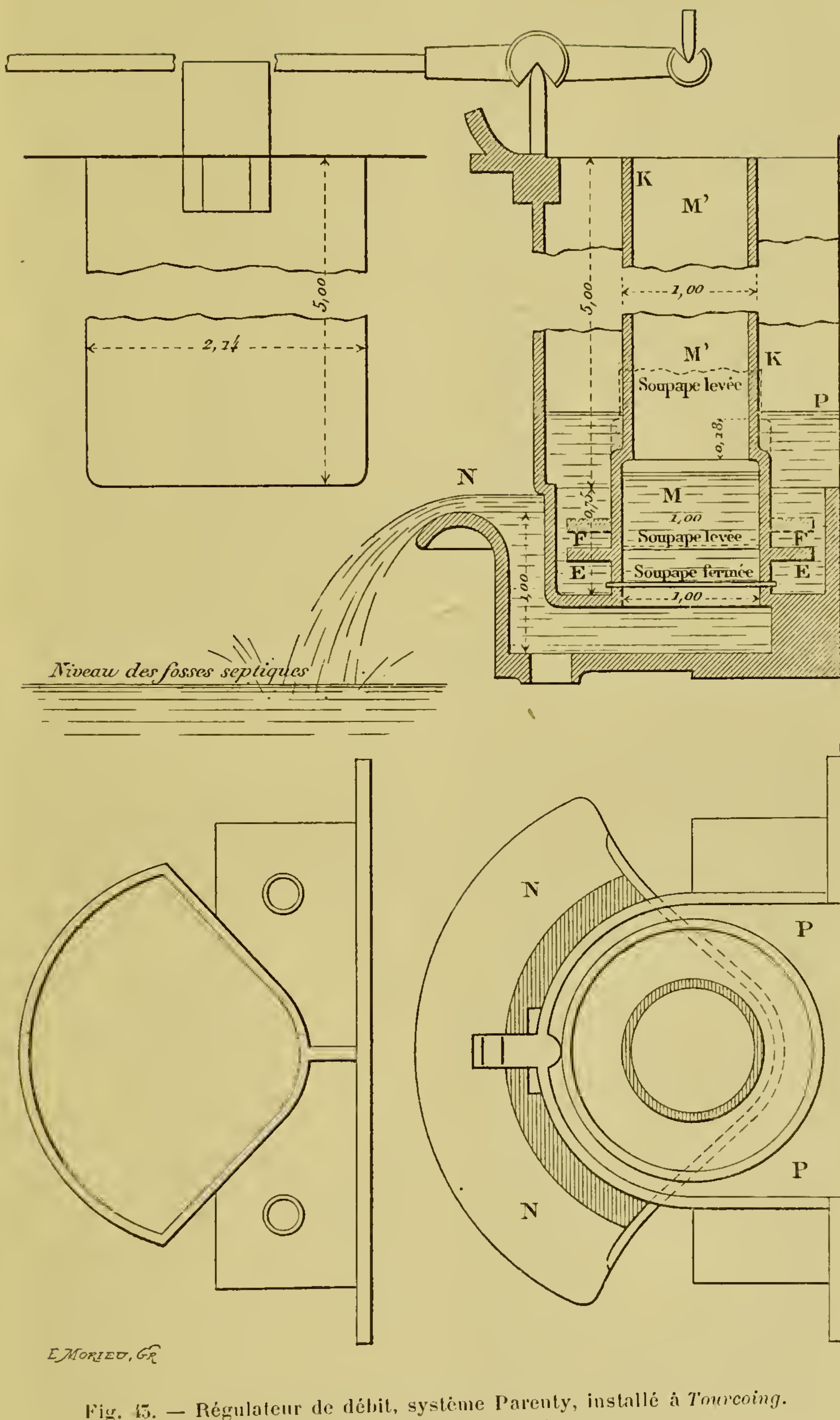


Fig. 45. — Régulateur de débit, système Parenty, installé à *Tourcoing*.
Échelle 1/5ᵉ, débit 250 m^3 par jour.

rieure M' pour le niveau libre amont de la couronne régulatrice. On peut ainsi lui donner sans inconvénient telle épaisseur que l'on veut.

J'ajoute que la vanne peut à chaque instant être retirée de son siège, ce qui permet d'entretenir très facilement l'appareil et de le débarrasser immédiatement des boues et des corps solides qui viendraient en fausser le fonctionnement.

Calculs particuliers pour le débit de 250 mètres cubes par jour.

250 mètres cubes par jour;

250 : 24 = 10^{mc},416 par heure;

0^{mc},1756 par minute;

2^{l},89 par seconde.

Pour corriger les réductions de débit dues à la forme des orifices, j'admets un débit de 4 litres par seconde, ce qui suppose que la réduction moyenne est de 0,72 environ, pour chacun des obstacles successifs.

Soupape réglable I K.

10 centimètres de diamètre, surface 78^{c}.54;

4 litres : 80 = 50 centimètres de vitesse; la perte de charge correspondant à cette vitesse est environ 15 millimètres.

Levée maxima de la soupape réglable. — Le diamètre de 100 donne lieu à une levée de $\frac{100}{4} = 25$ millimètres au maximum. Je donne 55 millimètres de jeu à la soupape pour qu'elle n'apporte sûrement aucune résistance dans les débits inférieurs au débit normal maximum.

Orifice annulaire de jauge E.

Cercle 20 — cercle 18 = 314 — 250 = 60 centimètres carrés;

Vitesse V = 4 : 60 = 0^{m},666;

Hauteur génératrice $h = 22$ millimètres.

Surface de la lame régulatrice.

Cercle 20 — cercle 10 = 254 — 78 = 176 centimètres carrés;

Force motrice depuis 0,176 × 22 = 387 grammes;

Chaque millimètre de hauteur vaut 18 grammes environ.

Déversoir terminus N.

Il a 55 centimètres de longueur circulaire. Je lui applique la formule approximative d'un orifice rectangulaire dont la

charge serait due à la demi-épaisseur de la nappe. Je supprime bien entendu la contraction.

$$D = 1\,h\sqrt{2g\frac{h}{2}} = 1\sqrt{gh^3};$$

$$0.004 \text{ litres} = 0,35\sqrt{gh^3};\ \sqrt{g} = 3,132;$$

$$\sqrt{h^3} = \frac{0,004}{0,25 \times 3,132} = \frac{0,004}{1,096} = 0,004 \text{ environ};$$

$$h^3 = 0,000016;$$

$$1\,h = 25 \text{ millimètres environ.}$$

Seuil P *amont d'entrée dans l'appareil.* Traitons ce seuil comme un déversoir, ce qui est un minimum pour la hauteur de l'eau puisque, en réalité, il y a une résistance à l'aval de ce seuil.

Ce seuil a 32 centimètres environ de longueur :

$$\sqrt{h^3} = \frac{0,004}{0,22 \times 3,132} = 0,006 \text{ environ};$$

$$h^3 = 0,000036;$$

$h = 3^c,3$, en chiffres ronds 33 millimètres; *en réalité* h *est supérieur et égal à 4 ou 5 centimètres.*

Il y a avantage pour l'aspect à élever le seuil du déversoir de quelques centimètres au-dessus du bassin septique à alimenter, de façon à avoir une nappe libre de 5 à 6 centimètres; le seuil sera ainsi établi à 10 centimètres du niveau supérieur de la fosse septique. Mais cette condition n'est pas indispensable. Si la hauteur verticale fait défaut, on peut régler le seuil du déversoir aval N sur le plan supérieur de la fosse septique, sans apporter aucun inconvénient effectif au jeu du régulateur.

Marche de l'appareil.

Dès que le niveau liquide alimentaire de l'eau d'égout qui doit être assainie arrivera au seuil amont de l'appareil, l'eau tombera dans la fosse septique sans autre obstacle que celui des orifices naturels de l'appareil. Mais tant que le débit restera inférieur à 250 mètres cubes par jour, la soupape réglable sera ouverte en grand et aucune régulation ne se produira jusqu'à ce que le niveau amont de l'appareil soit monté à

5 centimètres au-dessus du seuil amont et 7 centimètres du seuil aval; à ce moment, le débit atteindra la valeur de 250 mètres cubes qu'il ne dépassera plus désormais, quelle que soit la hauteur de l'eau à son arrivée. J'ai donné une hauteur de 50 centimètres à la cloison verticale qui sépare l'amont de l'aval de l'appareil. Supposons que cette hauteur de 80 centimètres soit atteinte; le débit sera encore de 250 mètres cubes. La soupape régulatrice sera alors soulevée de 3 ou 4 millimètres au-dessus de son siège horizontal. L'appareil fonctionne donc à toute sensibilité.

Ainsi donc, quand la hauteur du liquide amont au-dessus du seuil d'entrée varie de 0 à 5 centimètres, il n'y a pas régulation et le débit inférieur à 250 mètres cubes par jour s'effectue sans entrave; la soupape est ouverte en grand.

Quand la hauteur du liquide amont va de 5 à 50 centimètres, la régulation s'effectue par l'étranglement progressif de la soupape réglable, et le débit reste fixé au maximum de 250 mètres cubes par jour.

LIMITES DANS LESQUELLES PEUT RÉGLER L'APPAREIL.

Il est certain que l'appareil réglerait 350 mètres cubes par jour comme limite supérieure. Pour évaluer la limite inférieure, on doit tenir compte du degré d'étanchéité de la sou pape. Supposons que la soupape ne ferme pas hermétiquement et laisse à la fermeture un écart vertical de 1 millimètre; pour tout autre écart le calcul sera proportionnel. La soupape réglable réduite à 1 millimètre de levée a pour valeur 314 millimètres carrés sous une charge de 40 centimètres et, en négligeant la contraction, qui est ici considérable à cause du laminage, le débit par seconde de cet orifice, abstraction faite de toute réduction du débit, est égal à la vitesse $2^{m},8$ multiplié par la surface $0^{dcm},314$ soit $0^{l},870$ par seconde. 1 litre par seconde est donc un grand maximum et correspond à un débit de 86 mètres cubes par jour. Ainsi donc, l'appareil supposé en très mauvais état quant à la soupape, réglera encore pratiquement pour les plus fortes crues 80 mètres cubes par jour au lieu de 250, débit pour lequel il a été construit et réglé.

La force motrice à partir de 0 sera réduite alors à $2^{mm},4$, soit 40 grammes environ.

IV

APPAREIL ENREGISTREUR ET TOTALISATEUR DES DÉBITS DES CANAUX PAR M. PARENTY, DIRECTEUR DES MANUFACTURES DE L'ÉTAT.

M. Calmette ayant eu connaissance de mes travaux sur le jaugeage automatique des canaux découverts, m'exprima son désir de voir appliquer le principe de mes appareils à la mesure du débit extrêmement variable et intermittent des lits bactériens de contact.

J'ai fait construire à cet effet un jaugeur spécial qui comprend une vanne réglable en forme de losange carré, dont la plus grande ouverture, correspondant à 250 millimètres de diagonale, fournit un débit de 100 millimètres environ (*fig.* 44).

Une tige de rappel fixée à la vanne fait apparaître sur une graduation intérieure à la cage de la balancerie le degré d'ouverture, ou encore le coefficient par lequel il faut multiplier les indications de l'aiguille, de la plume et de la roulette, pour obtenir immédiatement le débit en mètres cubes. Ce débit peut ainsi s'évaluer avec précision dans les limites fort étendues de 1 à 100 mètres cubes par heure.

La construction de l'appareil est basée sur les principes que voici :

Le débit d'un orifice noyé au fond d'un liquide est donné par la formule : $D = K\omega\sqrt{2gh}$;

h représentant la différence $H_0 - H_q$ des deux niveaux libres des biefs que l'orifice met en communication. Le coefficient K varie avec le profil des orifices. Pour un orifice carré ou rectangulaire à arêtes vives, il est de 0,625 environ, mais il est bon de le vérifier au moyen d'une ou plusieurs expériences de jaugeage direct.

La formule qui précède peut s'écrire :

$$D = K\omega\sqrt{h},$$

et l'appareil jaugeur Parenty a eu pour but de faire apparaître

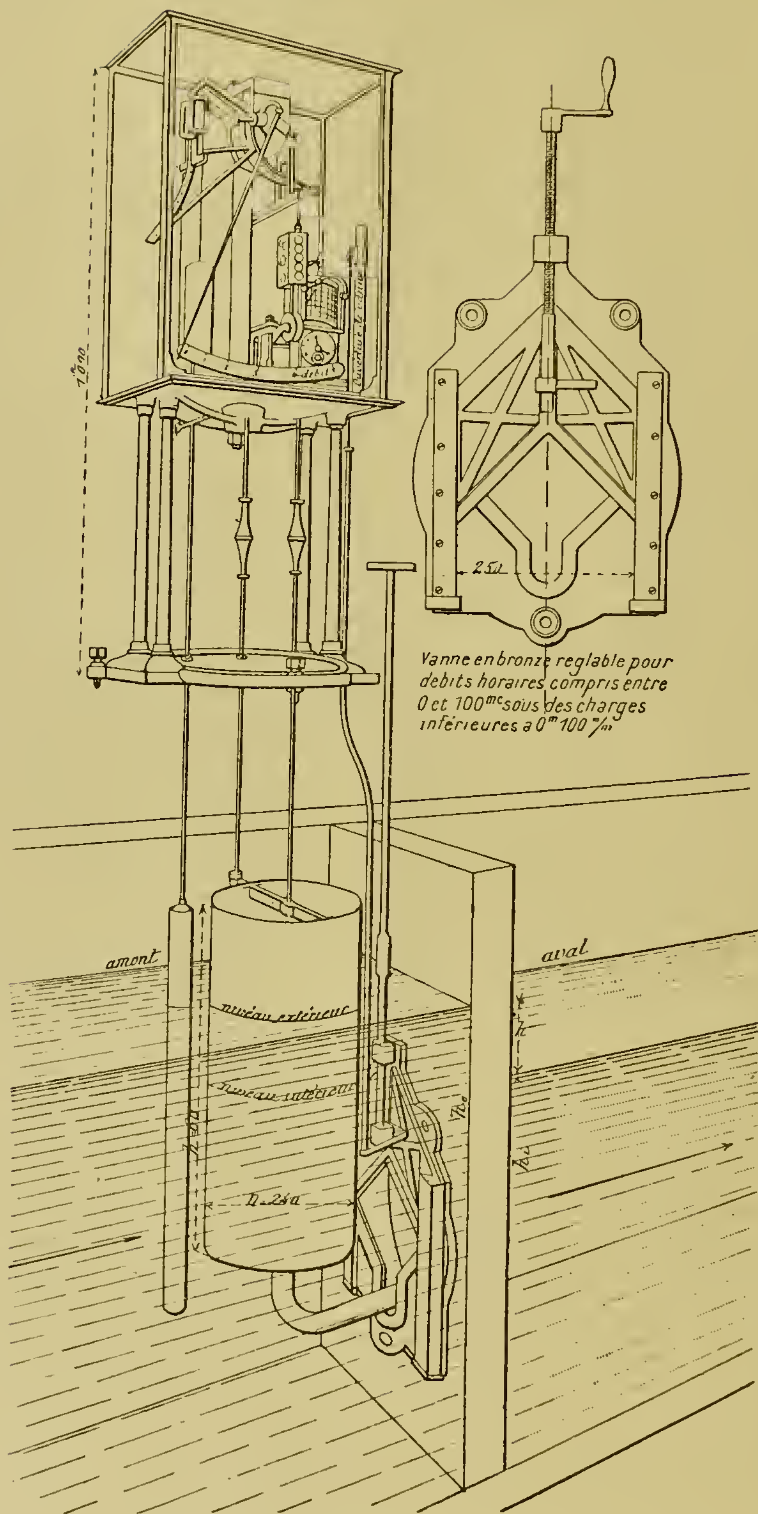


Fig. 44. — Enregistreur et totalisateur des débits des canaux, de *M. Parenty*.

les deux facteurs ω et $\sqrt{h}$, de façon à permettre d'en effectuer le produit.

Son moteur est une cuve cylindrique A de 240 millimètres de diamètre (*fig.* 45), plongée dans le bief d'amont et communiquant par un large tuyau B recourbé avec le bief d'aval. Ce tuyau traverse horizontalement l'orifice O lui-même, et l'organe tout entier, soustrait à tout frottement, perd à partir du débit O un poids proportionnel à la différence des niveaux à l'extérieur et à l'intérieur. La force motrice est ainsi proportionnelle à h, c'est-à-dire, en définitive, au carré du débit.

Cette force motrice se présentant ici sous la forme d'un poids verticalement suspendu, il était naturel de la peser au moyen d'une balance de position analogue au levier coudé qu'on appelle pèse-lettres, et dès lors une aiguille pouvait indiquer sur un cadran la valeur de la perte de charge, c'est-à-dire du débit.

En remplaçant le contrepoids fixe du pèse-lettres par un contrepoids ω reposant sur une came C convenablement tracée dans le plan vertical d'oscillation par l'intermédiaire d'une lame très mince et très flexible, j'ai pu donner aux sinus des arcs décrits par les différents points du bras du levier horizontal de suspension de la cuvette des valeurs proportionnelles à $\sqrt{h}$, c'est-à-dire au débit.

Il en résulte qu'un crayon D suspendu à l'un quelconque des points de ce bras de levier, tracera une ordonnée proportionnelle au débit sur un cylindre chronométrique E, tournant autour d'un axe vertical.

Qu'une roulotte F d'axe vertical glissant entre deux plateaux verticaux G, sera entraînée avec une vitesse de rotation également proportionnelle au débit.

On produira simultanément, par ces deux moyens :

1° Une courbe ayant pour ordonnée le débit et pour abcisse le temps, courbe dont l'aire composée des éléments

$$D\,dt$$

représentera, entre deux ordonnées quelconques, le débit total de la période qu'elles limitent.

$$\pi = \int_{t_0} D\,dt;$$

2° Un planimétrage continu de l'aire précédemment décrite (la roulette parcourt, en effet, un chemin élémentaire angulaire proportionnel aux éléments D *dt*, et la somme de ces chemins élémentaires apparaissent sur les cadrans d'un compte-tours

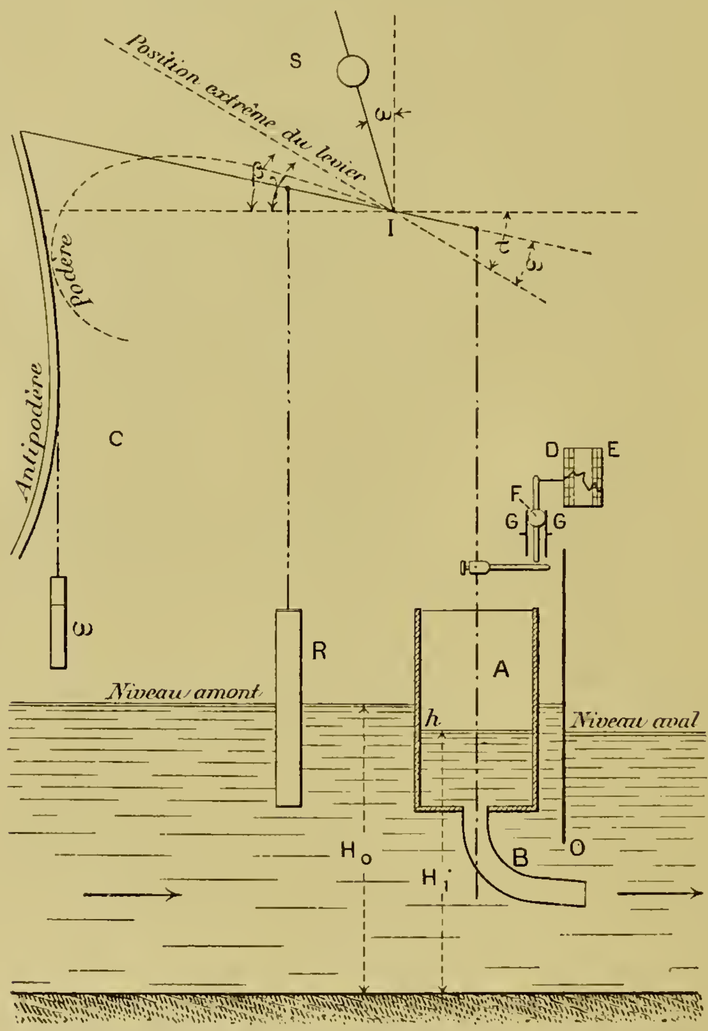


Fig. 45. — Enregistreur et totalisateur des débits des canaux, de *M. Parenty*.

ordinaire), donnera le débit total pendant une période, c'est-à-dire encore :

$$\pi = \int_{t_0}^{t} D\, dt.$$

Vanne de jauge à débit réglable. — La vanne de jauge a été établie en dérivation sur le canal de fuite des eaux provenant des lits bactériens. Son orifice réglable se compose d'un

losange carré à diagonales verticale et horizontale; son tiroir affecte également à sa partie inférieure la forme d'un demi-losange et, en s'abaissant progressivement au moyen de la vis de réglage, il conserve aux orifices de plus en plus petits qu'il limite la forme d'un carré losange dont le coefficient de débit demeure ainsi sensiblement constant.

Une échelle placée dans la cage de la balancerie indique, au moyen d'une tige de rappel, le degré d'ouverture de cette vanne et plus exactement le coefficient par lequel il faut multiplier les indications du compte-tours pour savoir le débit effectif.

Valeur des indications de l'appareil.

La came de l'appareil supporte deux contrepoids dont le plus lourd pèse trois fois autant que le plus léger et peut être décroché de la came. Toutes choses égales d'ailleurs, le débit correspond à l'usage du plus petit contrepoids puisqu'il correspond à une hauteur génératrice quadruple.

J'ajoute que, pour enlever le gros contrepoids, il faut ajouter un poids de compensation au contrepoids R destiné à équilibrer le poids mort de la cuvette.

Came. { Le petit contrepoids pèse . . . . 720 grammes.
Le gros contrepoids pèse . . . . 2160 —

Le contrepoids compensateur à placer sur le plateau quand on enlève le contrepoids de $2^k,160$ suspendu à la came, doit peser, en tenant compte du rapport des bras du levier, 1800 grammes environ.

Du reste on doit ramener l'aiguille au 0 pour le débit 0, au moyen du réglage initial.

Supposons l'usage des deux contrepoids : la vanne grandement ouverte procure, en admettant le coefficient de débit 0,625, un débit horaire de 106 mètres cubes pour une hauteur génératrice de $0^m,106$; à ce moment l'aiguille du compteur marque 5, le curseur de la vanne 20.

$$5 \times 20 = 100 \text{ mètres cubes par heure.}$$

Si l'on fait varier l'ouverture de la vanne, il suffira, pour avoir le débit horaire, de multiplier l'indication de l'aiguille de la balance par le coefficient de l'ouverture de la vanne.

Aire de la courbe. — L'aire de la courbe est reliée à l'indication de l'aiguille : l'ordonnée marque 50 millimètres pour l'indication 5; l'abscisse donne le nombre d'heures avec une dimension qui dépend de la vitesse de rotation du tambour et de son diamètre.

Tambour journalier. — Un premier tambour fait une révolution par jour; sa circonférence est de 24 centimètres : chaque centimètre représente donc une heure. L'aire de la courbe pour une heure,

$$10 \times 50 = 500 \text{ millimètres carrés};$$

ces 500 millimètres carrés représentent avec l'ouverture 20 de la vanne un débit de 100 mètres cubes : chaque millimètre carré vaut donc 200 litres. Avec un coefficient d'ouverture égal à 1, chaque millimètre carré vaut $\frac{200}{20} = 10$ litres.

A noter qu'en fait le plus petit coefficient marqué sur la graduation est 2, ce qui tient à ce que la vanne ne peut se fermer entièrement à cause du tuyau de la cuve motrice qui le traverse.

Chaque millimètre carré vaut, en valeur absolue, 10 litres, qu'il faut multiplier par le coefficient d'ouverture à la vanne.

Tambour hebdomadaire. — Le tambour hebdomadaire a pour circonférence 42 centimètres. Soit 6 centimètres par jour, 2 millimètres et demi par heure. La valeur du millimètre carré est donc quatre fois celle du cas précédent.

Chaque millimètre carré vaut, en valeur absolue, 40 litres, qu'il faut multiplier par le coefficient d'ouverture de la vanne.

Compteurs de tours. — Pour un débit de 100 litres au maximum d'ouverture de la vanne, la roulette fait 5 tours par heure. Cette vitesse n'est pas facilement visible, aussi l'a-t-on multipliée par l'addition d'un cadran dont l'aiguille accomplit des mouvements parfaitement sensibles à l'œil et qui, pendant que l'aiguille du cadran de la roulette accomplit 5 tours ou 50 divisions, donne dix fois plus, soit 50 tours ou 5000 petites divisions centésimales. La petite division de ce cadran supplémentaire vaut donc $\frac{100}{5{,}000}$ mètres cubes ou 20 litres.

En valeur absolue, la petite division centésimale du cadran le plus bas vaut donc 1 litre, qu'il faut multiplier par le coefficient d'ouverture de la vanne.

		Résumé. —	Les deux contrepoids sur la came. litres	Le petit contrepoids sur la came. litres
Indication du débit horaire.	Aiguille de la balance.	Par grande division. . . .	1 000	500
		Par divisions décimales. .	100	50
	Ordonnées des tambours.	Par centimètre	1 000	500
		Par millimètre	100	50
Débit totalisé.	Tambour journalier	Par millimètre carré . .	10	5
	Tambour hebdomadaire	Par millimètre carré . .	40	20
	Compte-tours petite division.		1	0,5

Ces valeurs devront être multipliées par le coefficient d'ouverture de la vanne de jauge.

Guidages rectilignes de la roulette et de la plume. — Le mouvement de la roulette et celui de la plume sont rendus rectilignes par l'action d'un guidage inventé par M. Parenty et qui permet, en outre, d'amplifier le tracé de la courbe à ordonnées rectilignes à la façon d'un pantographe.

La course de la roulette est de 25 millimètres.

La course de la plume est de 50 millimètres.

Contrepoids compensateur de la variation de poussée des parois de la cuve due aux variations du niveau de l'eau dans les biefs.

Le contrepoids R plonge dans le même bief et éprouve, par suite des variations du niveau H_0 une poussée compensatrice.

Le contrepoids S fixé sur le fléau est destiné à compenser la différence relative des poussées exercées sur les sections de la cuve A et de son contrepoids R pendant le fonctionnement de l'appareil.

TABLEAU V. — **Influence de la quantité des matériaux sur le degré d'épuration obtenue avec les procédés à percolation.** (Système SCOTT-MONTCRIEFF, essais d'ASHEDD, d'après *Bredtschneider* et *Thumm*.)

NATURE DE L'EAU	RÉSULTATS EN MILLIGRAMMES PAR LITRE				
	AZOTE ALBUMINOÏDE	AZOTE AMMONIACAL	AZOTE NITRIQUE	AZOTE NITREUX	OXYGÈNE ABSORBÉ EN 4 HEURES
Effluent de la fosse septique	12,5	105,0	1,2	0	98,0
Effluents successifs de : 1re caisse en béton	10,5	86,5	0,9	9,9	67,0
2e —	8,2	74,2	5,0	9,0	57,0
3e —	4,9	41,2	18,7	7,8	45,0
4e —	2,9	35,0	27,6	6,6	17,0
5e —	1,2	12,4	46,8	4,8	15,0
6e —	2,9	14,4	44,2	5,1	15,0
7e —	2,5	2,9	66,0	0	8,0
8e —	5,3	1,7	73,0	0	4,6
9e —	4,9	2,0	90,0	0	6,0

N. B. — Temps de passage à travers l'appareil : 8 minutes.
Chargement de l'appareil : 1 mc. d'eau chaque jour par mq. de surface.

TABLEAU VI. — **Influence de la teneur en fer et de la porosité des matériaux sur le degré d'épuration obtenue par les procédés de contact** (d'après *Bredtschneider* et *Thumm*).

NUMÉRO DU REMPLISSAGE	DIMINUTION DU % DE PERMANGANATE ABSORBÉ AVEC					
	CAILLOUX	PONCE	CAILLOUX ET 1 % DE FER	PONCE ET 1 % DE FER	SCORIES 1,5 % DE FER	COKE TENEUR EN FER 1,2 %
25	46	42	66	62	65	62
51	53	51	69	71	74	70

TABLEAU VII. — **Influence de la grosseur des matériaux sur la capacité des lits et sur le degré d'épuration dans les procédés de contact.**

	GROSSEUR DES GRAINS EN MILLIMÈTRES				
	2-3	3-5	5-7	7-10	10-20
Cailloux :					
Capacité en litres par mc.	265	288	329	335	344
Degré d'épuration	61,8	61,8	57,1	56,6	46,5
Coke :					
Capacité en litres par mc.	406	440	455	429	434
Degré d'épuration	»	69,0	64,6	62,5	51,0

Tableau VIII. — **Dimensions des dispositifs d'épuration d'eaux d'égout, d'après les déterminations du " Local Government Board London " en Octobre 1900** (d'après *Bredschneider* et *Thumm*).

Nombre	Système	Par mètre cube d'eau d'égout par jour et par temps sec (c'est-à-dire pour la quantité d'eau qui correspond à 10 habitants) il faut compter : Pour l'eau d'égout étendue — Bassin de dépôt en mc.	Matériaux en mc. (étage supérieur).	Matériaux en mc. (étage inférieur).	pour le traitement ultérieur sur sol en mq.	Pour l'eau d'orage — Lit d'orage mq.	On répand aussi pour : 1 mc. de bassin de dépot — mc. d'eau d'égout par temps sec.	mc. d'eau étendue au maximum.	1 mc. de matériaux — mc. d'eau d'égout par temps sec.	mc. d'eau d'égout étendue au maximum.	1 mq. de surface — mc. d'eau d'égout par temps sec.	mc. d'eau d'égout étendue au maximum.	1 mq de surface de filtre d'orage — mc. Eau d'orage au maximum.
1	Procédé par double contact avec bassins de dépôt ou fosses septiques												
	2 remplissages p. jour	1,0	4,5	4,5	40,0	1,2	1,0	5,0	0,11	0,55	0,025	0,075	2,5
	3 remplissages p. jour	1,0	5,0	5,0	40,0	1,2	1,0	5,0	0,17	0,50	0,025	0,075	2,5
2	Procédé par simple contact avec bassins de dépôt ou fosses septiques												
	2 remplissages p. jour	1,5	4,5	»	40,0	1,2	0,7	2,0	0,22	0,66	0,025	0,075	2,5
	3 remplissages p. jour	1,5	5,0	»	40,0	1,2	0,7	2,0	0,55	1,00	0,025	0,075	2,5
5	Procédé par double contact sans fosse septique												
	2 remplissages p. jour	»	6,0	6,0	40,0	1,2	»	»	0,08	0,25	0,025	0,075	2,5
	3 remplissages p. jour	»	4,0	4,0	40,0	1,2	»	»	0,15	0,58	0,025	0,075	2,5
4	Procédé à percolation avec bassins de dépôt, fosses septiques ou de clarification.	1,5	2,7-5,4	»	40,0	1,2	0,7	2,0	0,57 – 0,19	1,10 – 0,55	0,025	0,075	2,5
5	Procédé à percolation sans bassins de dépôt, fosse septique ou de clarification.	»	5,4	»	40,0	1,2	»	»	0,19	0,55	0,025	0,075	2,5
6	Épandage	»	»	»	270,0 (eau d'égout et d'orage)	»	»	»	»	»	0,0057	0,022 (eau d'égout et d'orage)	»

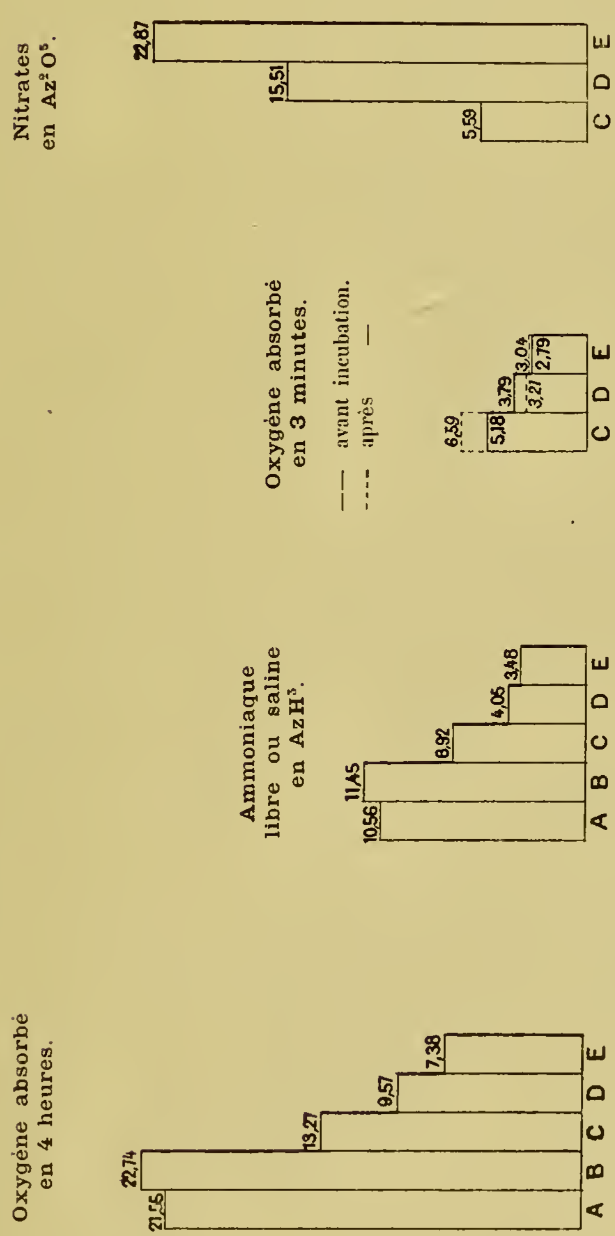
TABLEAU IX. — **Quelques données sur les procédés de contact et à percolation, réunies d'après les expériences allemandes et anglaises** (d'après *Thumm*).

SYSTÈMES			GROSSEUR DES MATÉRIAUX EN MILLIMÈTRES	HAUTEUR CONVENABLE DES MATÉRIAUX EN MÈTRES	PAR MC D'EAU ET PAR JOUR LES MATÉRIAUX PEUVENT RECEVOIR		PAR MC	PAR MQ
					ISOLÉMENT	RÉUNIS	DE MATÉRIAUX CORRESPONDENT PAR JOUR MC. D'EAU D'ÉGOUT	
Procédé à double contact.								
Nature du traitement	superficiel.	Lits de 1er contact	8 – 25	1,5 – 2,0	1,3	2,6	0,4	0,6
		— 2e —	3 – 8	1,0 – 1,5	1,3			
	énergique.	Lits de 1er contact	5 – 12	1,0 – 1,5	1,1	2,2	0,45	0,5
		— 2e —	3 – 5	1,0 – 1,2	1,1			
Procédé à simple contact.								
Nature du traitement	superficiel.	Lits travaillant eux-mêmes	3 – 8	1,0 – 1,5	2,0	2,0	0,5	0,75
	énergique.	— — —	3 – 5	1,0 – 1,2	1,7	1,7	0,6	0,72
	superficiel.	Lits servant pour la purification préalable pour champs d'épandage	8 – 25	1,3 – 2,0	1,3	1,3	0,77	1,54
Procédé à percolation.								
Nature du traitement	superficiel.	Lits travaillant par eux-mêmes	ca. 80 grosseur du poing	2,5	2,0	2,0	0,5	1,25
	énergique.	— — —		2,5	1,4	1,4	0,7	1,75
	superficiel.	Lits servant pour la purification préalable par champs d'épandage		2,5	1,0	1,0	1,0	2,5

EXPÉRIENCES D'ÉPURATION BIOLOGIQUES

EFFECTUÉES A LA MADELEINE EN 1906

GRAPHIQUES ET COURBES



Graphique n° 1. — Moyennes des analyses quotidiennes du 1er semestre 1906.

A. Eau brute. — B. Effluent de fosses septiques. — C. Effluent du lit bactérien de 1er contact.
D. Effluent du lit bactérien de 2 contact. — E. Effluent du lit bactérien à percolation.

EXPÉRIENCES D'ÉPURATION BIOLOGIQUE

MOYENNES



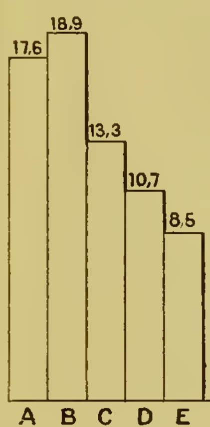
Première période :

Graghique

EFFECTUÉES A LA MADELEINE EN 1906.

ANALYTIQUES

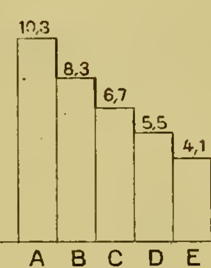
Oxygène absorbé
en 4 heures.



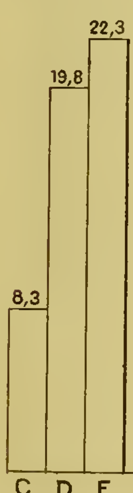
Ammoniaque
libre ou saline
en AzH^3.



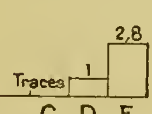
Azote
organique
en Az.



Nitrates
en Az^2O^5.



Nitrites
en Az^2O^3.



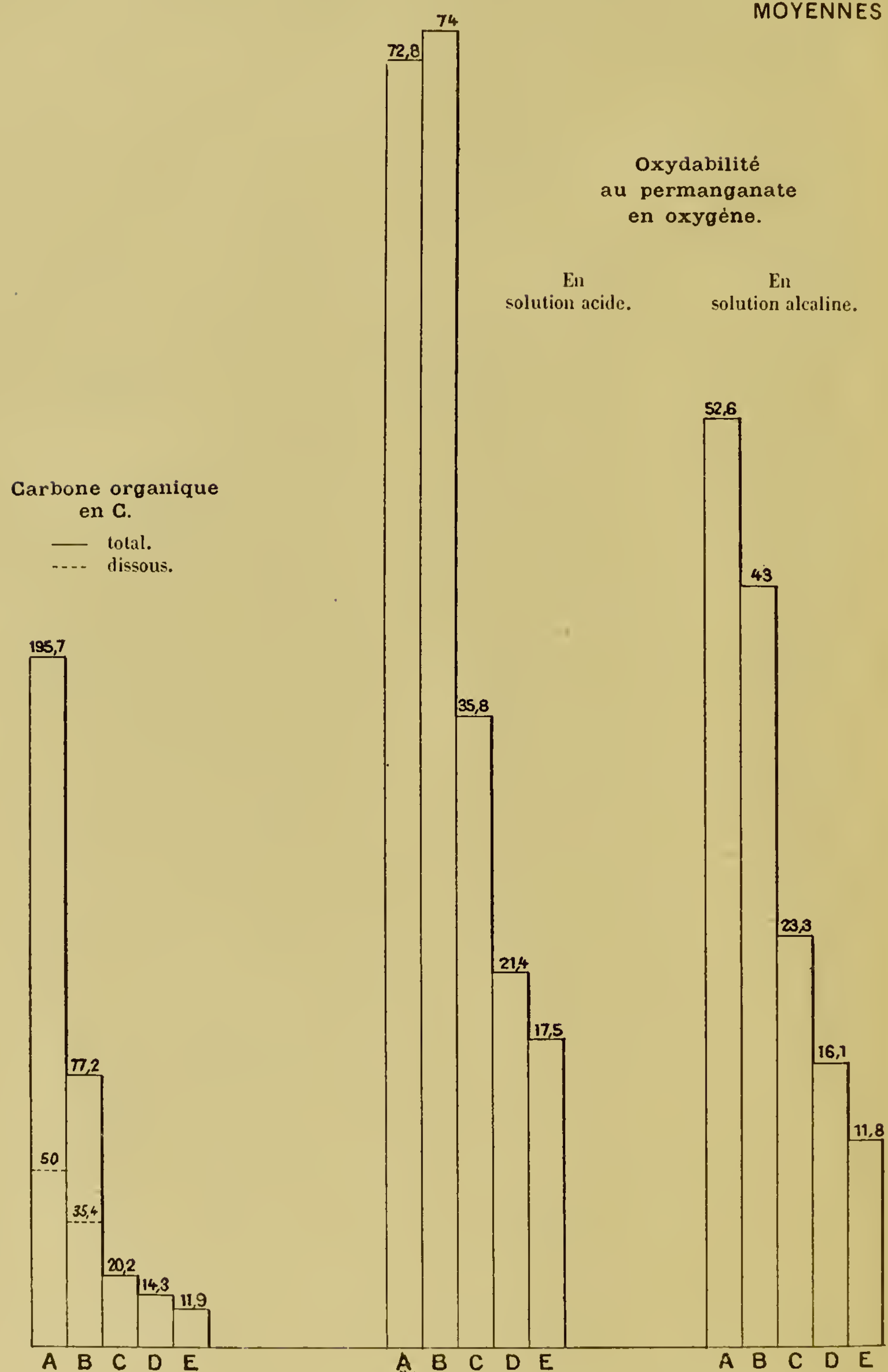
A. Eau brute.
B. Effluent des fosses septiques.
C. — du lit bactérien de 1er contact.
D. — — de 2e —
E. — — à percolation.

du 15 au 20 janvier 1906.

n° 2.

EXPÉRIENCES D'ÉPURATION BIOLOGIQUE

MOYENNES

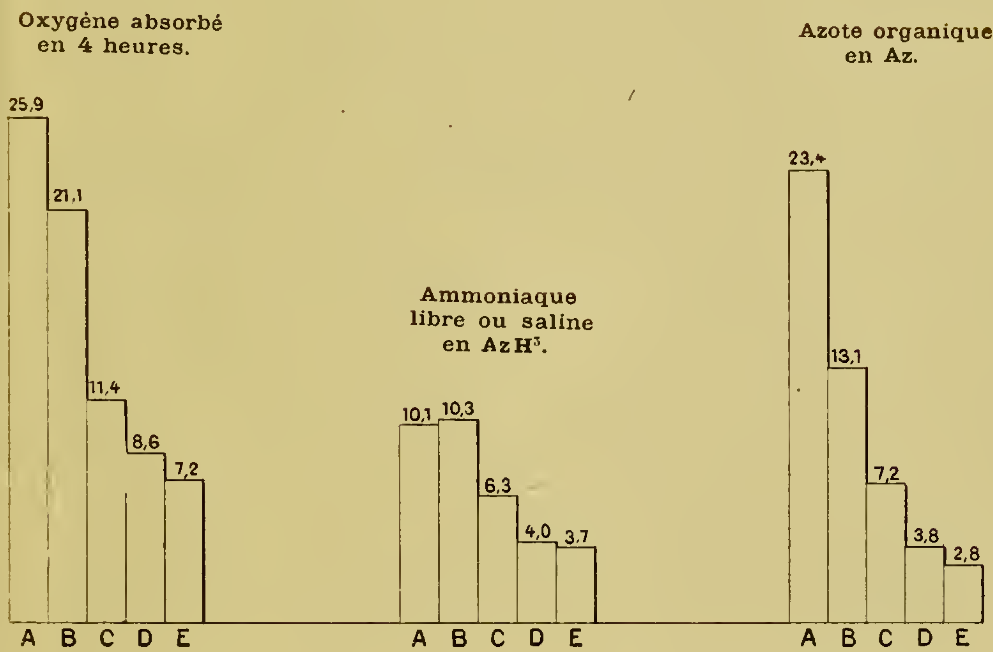


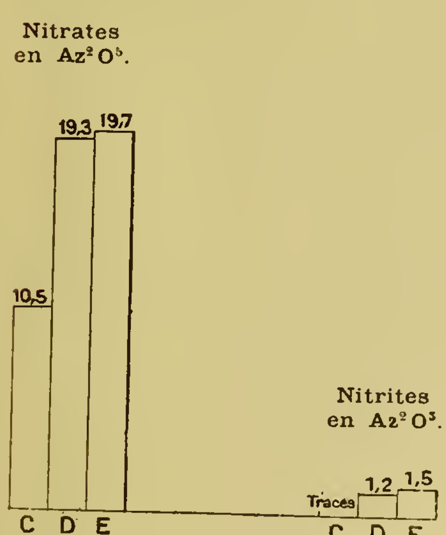
DEUXIÈME PÉRIODE :

Graphique

EFFECTUÉES A LA MADELEINE EN 1906.

ANALYTIQUES





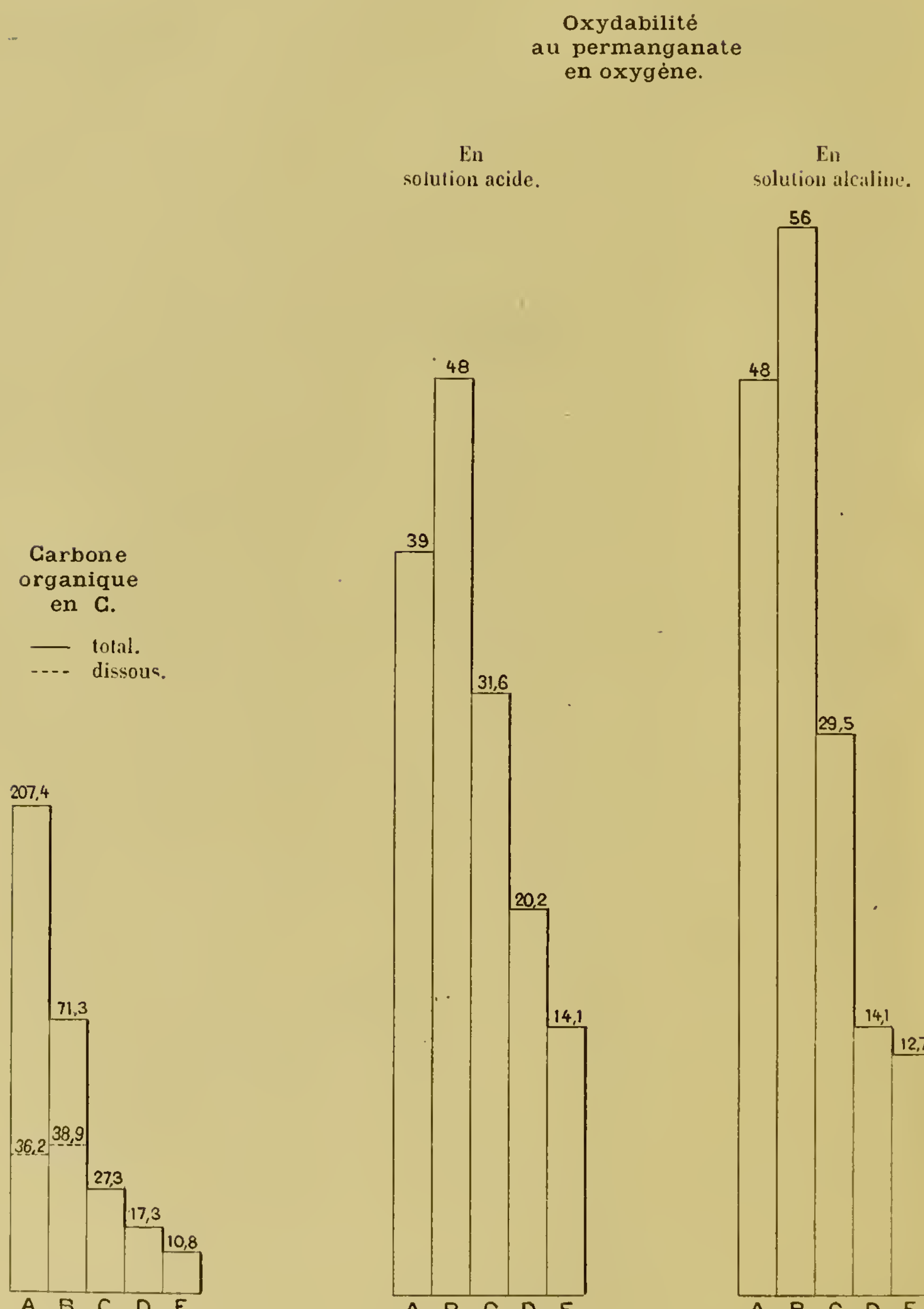
A. Eau brute.
B. Effluent des fosses septiques.
C. — du lit bactérien de 1er contact.
D. — — de 2e —
E. — — à percolation.

du 12 au 17 février 1906.

n° 3.

EXPÉRIENCES D'ÉPURATION BIOLOGIQUE

MOYENNES



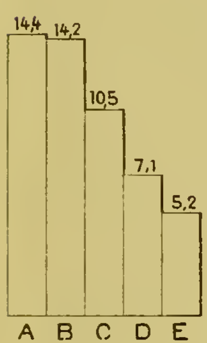
TROISIÈME PÉRIODE :

Graphique

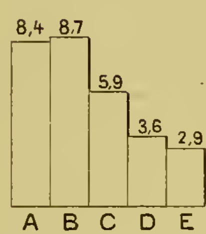
EFFECTUÉES A LA MADELEINE EN 1906.

ANALYTIQUES

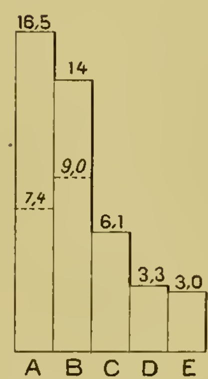
Oxygène absorbé en 4 heures.



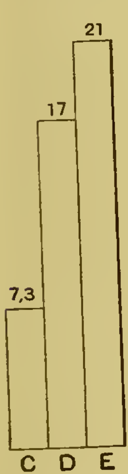
Ammoniaque libre ou saline en AzH^3.



Azote organique en Az.
—— total.
---- dissous.

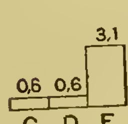


Nitrates en Az^2O^5.



A. Eau brute.
B. Effluent des fosses septiques.
C. — du lit bactérien de 1er contact.
D. — — de 2e —
E. — — à percolation.

Nitrites en Az^2O^3.

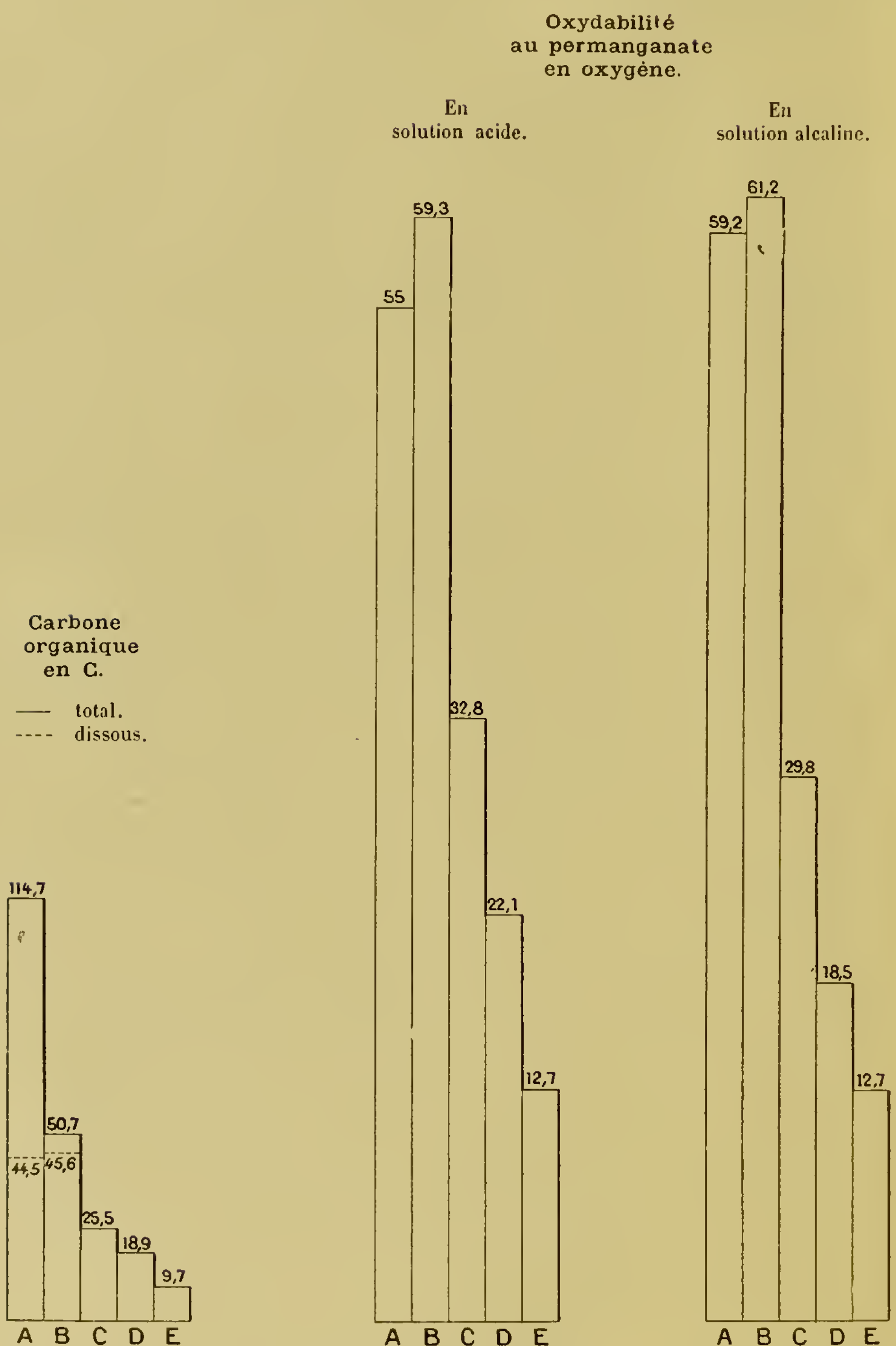


du 12 au 17 mars 1906.

n° 4.

EXPÉRIENCES D'ÉPURATION BIOLOGIQUE

MOYENNES



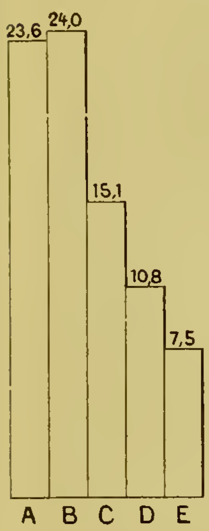
Quatrième période :

Graphique

EFFECTUÉS A LA MADELEINE EN 1906.

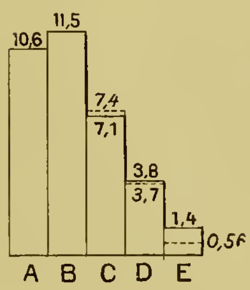
ANALYTIQUES

Oxygène absorbé en 4 heures.



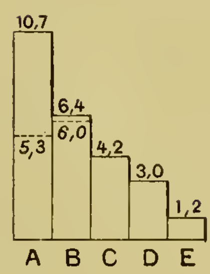
Ammoniaque libre ou saline en AzH^3.

—— avant incubation.
---- après incubation.



Azote organique en Az.

—— total.
---- dissous.



Nitrates en Az^2O^5.

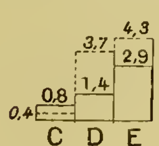
—— avant incubatiou.
---- après incubation.



A. Eau brute.
B. Effluent des fosses septiques.
C. — du lit bactérien de 1er contact.
D. — — de 2e contact.
E. — — à percolation.

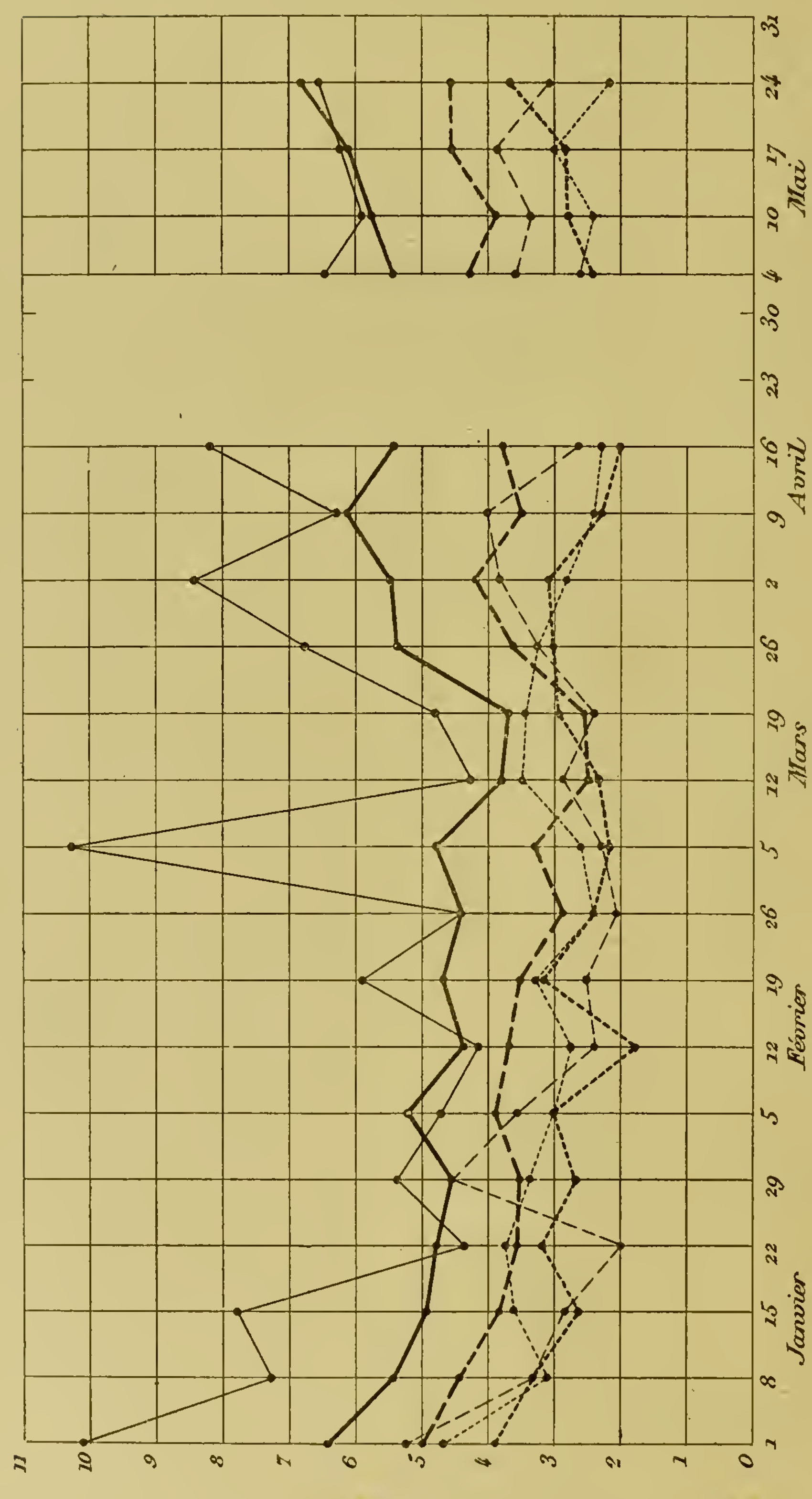
Nitrites en Az^2O^3.

—— avant incubation.
---- après incubation.



du 4 au 31 mai 1906.

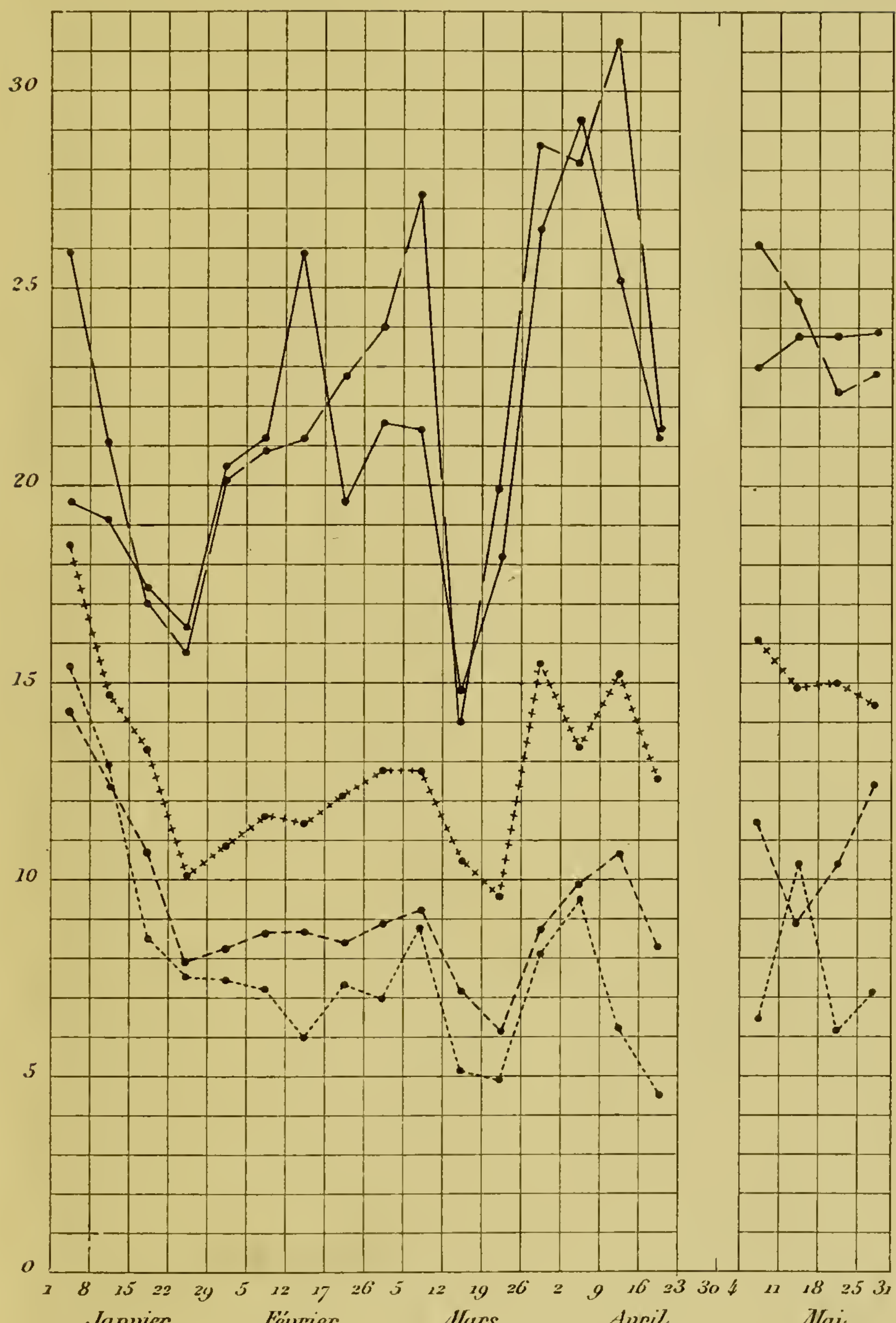
n° 5.



Graphique n° 6. — Oxygène absorbé en 5 minutes.

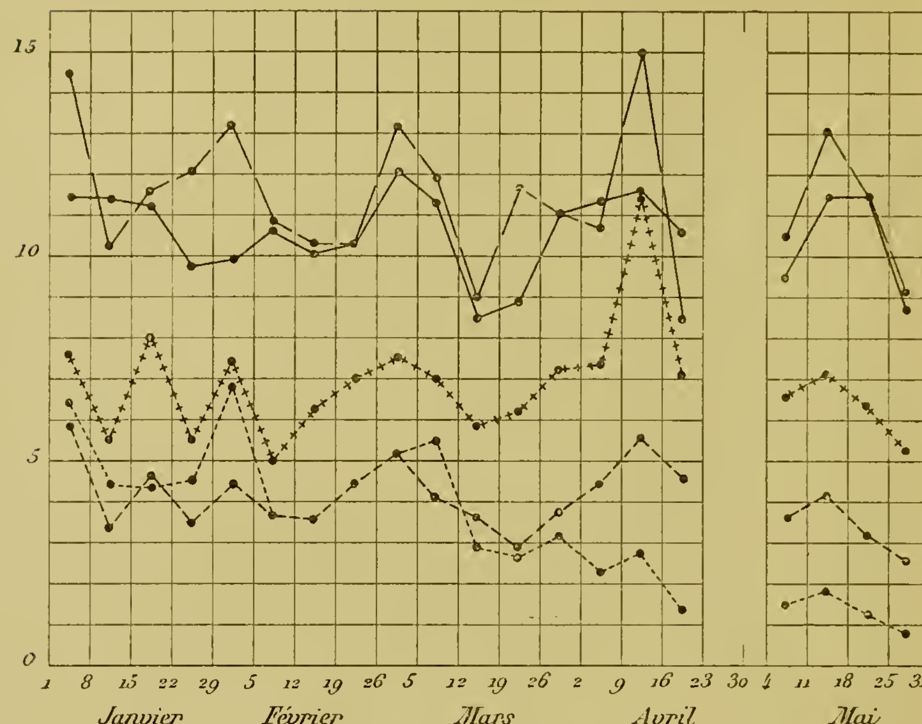
Effluent du lit de 1er contact — avant incubation, —— après incubation.
de 2e — — —
à percolation ---- ----

EFFECTUÉES A LA MADELEINE EN 1906.



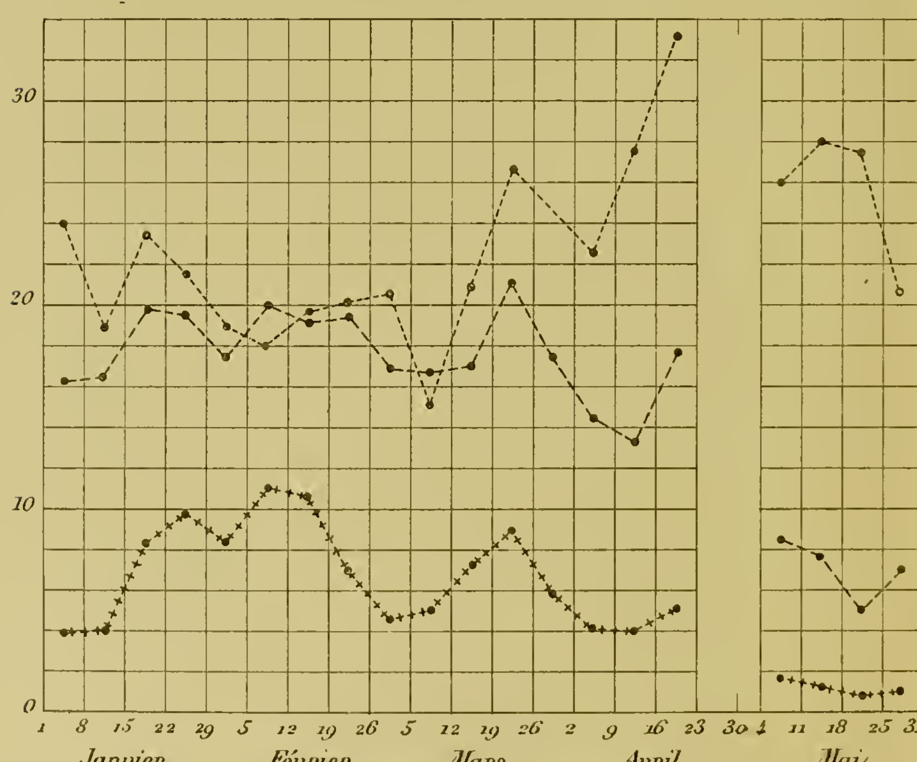
Graphique n° 7. — Oxygène absorbé en 4 heures.

————	Eau brute.
—— ——	Effluent des fosses septiques.
++++++++	— du lit bactérien de 1er contact.
— — — —	— — de 2e contact.
--------	— — à percolation.



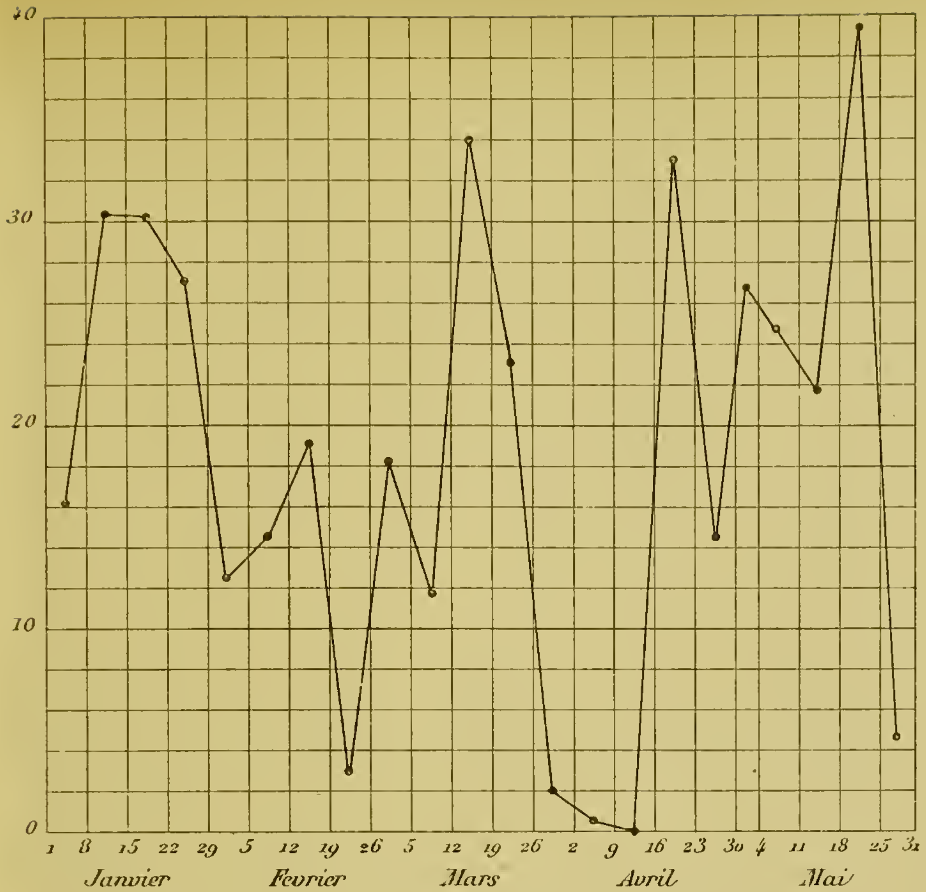
Graphique n° 8. — Ammoniaque libre ou saline.

—— Eau brute. ——— Effluent des fosses septiques. ++++++ Effluent du lit de 1er contact.
------ Effluent du lit de 2e contact. ------ Effluent du lit à percolation.

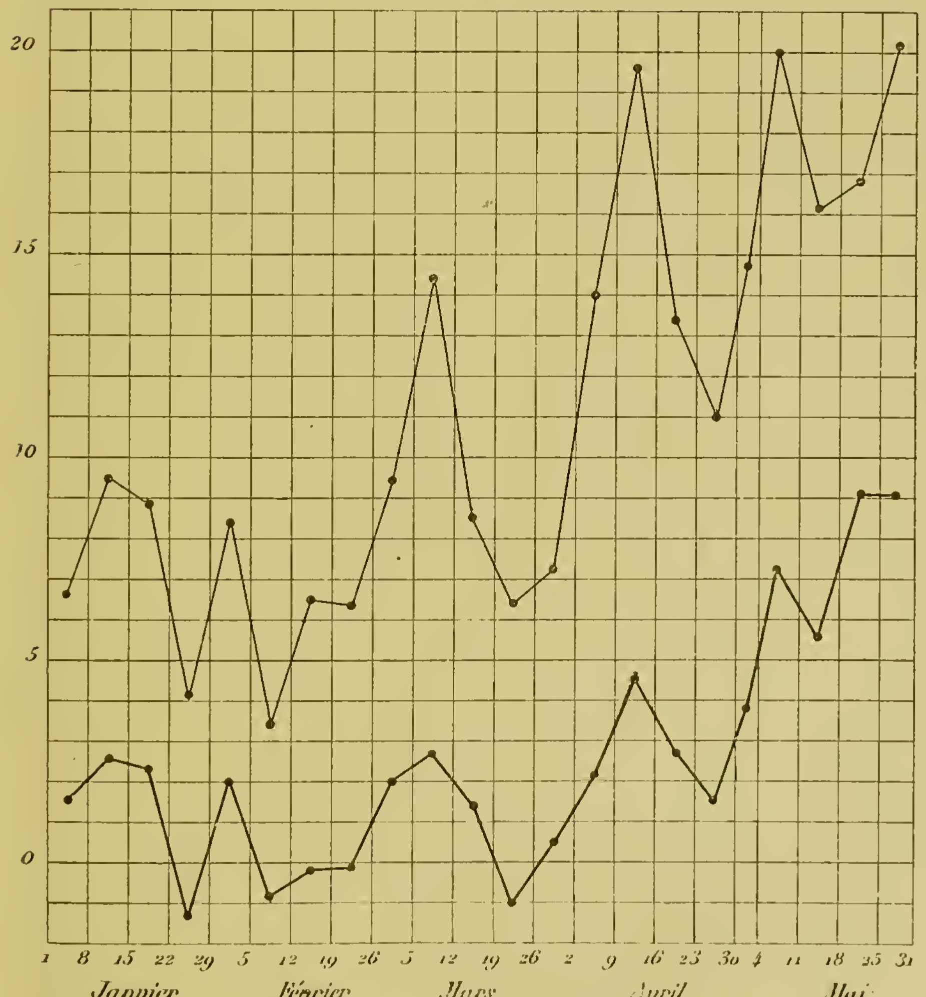


Graphique n° 9. — Nitrates.

++++++ Effluent du lit bactérien de 1er contact. ——— Effluent du lit bactérien de 2e contact.
------ Effluent du lit bactérien à percolation.



Graphique n° 10. — Diagramme des hauteurs (en millimètres) de pluie tombée par semaine.



Graphique n° 11. — Températures maxima et minima (moyennes par semaine).

TABLE DES MATIÈRES

APPENDICE

TABLE DES PLANCHES ET FIGURES

PLANCHES

FIGURES

58160. — PARIS, IMPRIMERIE LAHURE
9, rue de Fleurus, 9

RECHERCHES

SUR

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE DES EAUX D'ÉGOUT

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

Recherches sur l'épuration biologique et chimique des Eaux d'égout, *effectuées à l'Institut Pasteur de Lille et à la Station expérimentale de la Madeleine* :

Tome Ier avec la collaboration de MM. E. Rolants, E. Boullanger, F. Constant, L. Massol et du Pr A. Buisine. 1 vol. grand in-8° de v-194 pages, avec 59 figures et tracés dans le texte, et 2 planches hors texte (*épuisé*).

Tome II avec la collaboration de MM. E. Rolants, E. Boullanger, F. Constant, L. Massol. 1 vol. grand in-8° de iv-314 pages, avec 45 figures et de nombreux graphiques dans le texte, et 6 planches hors texte. . . . . . 10 fr.

Les Venins. *Les animaux venimeux et la sérothérapie antivenimeuse*. 1 volume in-8° avec 125 figures, relié toile. . 12 fr.

L'Ankylostomiase, *maladie sociale* (*anémie des mineurs*), biologie, clinique, traitement, prophylaxie. En collaboration avec M. Breton, chef de clinique médicale à la Faculté de Médecine, assistant à l'Institut Pasteur de Lille; avec un appendice par E. Fuster, secrétaire général de l'Alliance d'hygiène sociale. 1 vol. in-8, avec figures dans le texte, cartonné toile. . . . . . 5 fr.

60816. — Imprimerie Lahure, 9, rue de Fleurus, à Paris.

MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

CAISSE NATIONALE DES RECHERCHES SCIENTIFIQUES

RECHERCHES
SUR
L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE DES EAUX D'ÉGOUT

EFFECTUÉES A L'INSTITUT PASTEUR DE LILLE

ET A LA STATION EXPÉRIMENTALE DE LA MADELEINE

PAR

LE Dr A. CALMETTE
Membre correspondant de l'Institut et de l'Académie de Médecine

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

E. ROLANTS
Chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille

E. BOULLANGER
Chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille

F. CONSTANT
Préparateur à l'Institut Pasteur de Lille

L. MASSOL
Chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille

TROISIÈME VOLUME

PARIS
MASSON ET Cie, EDITEURS
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1908

INTRODUCTION

« Les nombreuses expériences faites au cours de ces quatre dernières années dans le domaine de l'épuration des eaux d'égouts ont confirmé la résolution adoptée par le XIIIe Congrès international d'hygiène et de démographie à Bruxelles, et ont montré, d'une part, qu'il n'existe pas de procédé qui puisse être indiqué d'une façon absolue comme le meilleur et le plus recommandable au point de vue économique, et, d'autre part, que l'on peut obtenir des résultats absolument satisfaisants *quand on choisit judicieusement le procédé qui peut s'adapter aux conditions locales et qu'on en surveille l'application d'une façon sérieuse et constante.* »

Tels sont les termes du vœu adopté en séance plénière de clôture, après avis favorable de la Commission permanente, par le XIVe Congrès international d'hygiène et de démographie réuni à Berlin du 23 au 29 septembre 1907.

Ce vœu exprime très exactement l'état actuel de la question de l'épuration des eaux d'égouts.

Nous exposons les mêmes idées dans ce troisième volume de nos Recherches et nous pensons que le lecteur qui voudra bien feuilleter ces pages reconnaîtra avec nous la nécessité de déterminer, par des études et des expériences rigoureusement conduites, pour chaque ville comme pour chaque espèce d'industrie, le mode d'épuration le plus convenable.

Il ne s'agit plus de discuter désormais la valeur respective

de l'épuration biologique ou de l'épandage agricole, ni d'établir un parallèle entre les effets des divers réactifs chimiques qu'on a prônés tour à tour.

Nous sommes suffisamment éclairés sur les avantages et sur les imperfections des divers systèmes. L'heure est venue d'attribuer à chacun d'eux la fonction qu'il peut utilement remplir.

Dans telles circonstances, — lorsqu'on disposera par exemple de vastes espaces de terrains perméables et homogènes, peu éloignés, peu coûteux, faciles à drainer et à cultiver, — l'épandage agricole s'imposera, et il fournira assurément les résultats d'épuration les plus parfaits. Mais ce sera évidemment l'exception.

Ailleurs, — beaucoup plus fréquemment sans doute, — les terres appropriées à l'épandage font défaut, ou bien elles sont trop éloignées ou trop coûteuses, ou bien encore elles risquent de laisser contaminer par des infiltrations profondes les nappes d'eaux souterraines qui alimentent les populations voisines : on recourra alors de préférence à l'un des divers procédés d'épuration biologique, en choisissant celui que les conditions locales imposent, dût-on se contenter de résultats moins parfaits, pourvu qu'ils sauvegardent la santé publique et qu'ils évitent la pollution des rivières !

Ailleurs enfin, l'existence de certaines industries, dont il faut développer la prospérité parce qu'elles enrichissent la région, rend indispensable l'emploi de certains réactifs, soit pour l'extraction de matières grasses, soit pour la neutralisation d'acides ou d'alcalis, soit pour la destruction de substances fermentescibles ou toxiques. On devra alors s'adresser au procédé chimique ou chimico-biologique le plus capable de réaliser économiquement la suppression aussi complète que possible des *nuisances*.

Il importe que, dans certains cas, les administrations sani-

taires sachent se contenter de résultats même imparfaits, et qu'elles réservent toutes les rigueurs de leurs règlements pour les circonstances où la pollution des nappes d'eau souterraines ou des rivières, entraîne des inconvénients ou des dangers qu'on doit éviter.

Les circulaires récentes émanant du Ministère de l'Agriculture et que nous reproduisons en annexes de ce volume, répondent à cet égard pleinement à ce qu'on peut désirer. Il faut souhaiter qu'elles soient appliquées sans faiblesse par les fonctionnaires chargés d'en poursuivre l'exécution. Les municipalités et les industriels ont maintenant à leur disposition tous les moyens d'y satisfaire : il serait donc inadmissible qu'on tolérât plus longtemps de leur part une indifférence coupable.

* * *

Après avoir exposé la suite de nos expériences à la station expérimentale de la Madeleine et à l'Institut Pasteur de Lille, nous avons résumé dans ce troisième volume tous les documents nouveaux relatifs aux études entreprises sur le même sujet en Angleterre, en Allemagne et aux États-Unis. Ces documents font suite à ceux que nous avons déjà publiés antérieurement.

Il nous a paru nécessaire, en outre, de préciser l'état actuel de nos connaissances sur la question si controversée des *fosses septiques*, surtout en ce qui concerne leur emploi pour l'assainissement des immeubles isolés ou faisant partie d'agglomérations urbaines où il existe un réseau d'égout.

Le public et même les municipalités de quelques villes importantes ont trop souvent commis l'erreur de croire, sur l'affirmation de certains constructeurs, que les fosses septiques représentent un moyen économique et efficace d'*épuration* pour les matières de vidange. Il était de notre devoir de

protester contre une pareille interprétation de leur rôle. Ces fosses, quel que puisse être leur mode de construction, n'*épurent* jamais : elles se bornent, quand elles fonctionnent bien, à *solubiliser* les matières en suspension dans les eaux-vannes. L'*épuration* de ces matières, c'est-à-dire leur transformation en ammoniaque et en nitrates, autrement dit leur *minéralisation*, ne peut s'accomplir qu'à la surface d'un sol perméable ou sur un *lit bactérien* à la faveur d'actions microbiennes *aérobies*.

Les liquides évacués par les fosses septiques sont toujours et rapidement *putrescibles*. On ne peut donc pas tolérer leur déversement direct dans les cours d'eau. On ne peut pas davantage tolérer leur rejet dans les égouts, parce qu'aussitôt dilués ils fermentent en dégageant des produits gazeux malsains ou gênants pour le voisinage (hydrogène sulfuré et hydrogène carboné).

Il faut donc, pour les raisons qui précèdent, proscrire l'usage des fosses septiques dans les villes. Il faut les proscrire aussi parce qu'elles présentent, au point de vue des risques de contamination du sous-sol, les mêmes dangers que les *fosses fixes*.

En revanche, elles peuvent être utilisées très avantageusement dans les campagnes, dans les villages et les petites agglomérations où le tout-à-l'égout n'est pas applicable, mais *à la condition qu'on épure aussitôt les liquides qui s'en échappent*, soit par *irrigation culturale* (*non potagère*), *soit par déversement intermittent sur un lit bactérien convenablement construit*.

Il appartient aux Conseils départementaux d'hygiène et aux Commissions sanitaires d'arrondissements de veiller à ce que l'effluent de ces fosses soit réellement *épuré* et ne présente, par suite, aucun danger pour la santé publique.

Nous voudrions que les lecteurs de ce volume restâssent bien pénétrés de l'importance de ces faits. Pour les en con-

vaincre, nous avons dû montrer les inconvénients des appareils préconisés par certains constructeurs. Nous prions ces derniers de ne voir dans nos critiques aucune autre intention que celle de leur fournir les éléments d'information scientifique qui leur manquaient et qui doivent leur permettre de perfectionner leurs systèmes.

Notre seul souci est de servir la vérité scientifique et de tâcher d'être utiles à tous ceux que préoccupent les questions d'assainissement.

Dr A. CALMETTE.

Lille, le 29 décembre 1907.

RECHERCHES

SUR

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE DES EAUX D'ÉGOUT

CHAPITRE PREMIER

LA STATION EXPÉRIMENTALE DE LA MADELEINE NOUVEAUX DISPOSITIFS DE DISTRIBUTION DES EAUX D'ÉGOUT SUR LITS BACTÉRIENS PERCOLATEURS

Après les expériences de 1905-1906 rapportées dans notre second volume, on devait considérer comme pleinement satisfaisants les résultats du dispositif de *percolation* que nous avons adopté pour l'épuration des eaux d'égout de notre station expérimentale de la Madeleine.

Aussi, tout en continuant l'étude du travail d'épuration dans les anciens lits de contact que nous avons conservés et dans nos nouveaux lits percolateurs, nous sommes-nous proposés cette année de rechercher les *modes de distribution* capables d'assurer *le mieux et le plus économiquement possible* la répartition de l'eau d'égout sur les matériaux des lits.

Nous n'avons rien changé à nos réservoirs, non plus qu'aux siphons de chasses automatiques et intermittentes. Les appareils de chasses, *type Geneste-Herscher-Doulton*, que M. *Degoix* nous avait fournis, et les appareils de M. *Parenty*, construits par la maison *Geneste et Herscher*, — les uns et les autres décrits pages 7, 14 et 275 du volume II — réalisent à merveille le but cherché, qui est de lancer périodiquement sur les lits, avec des intervalles d'au moins dix minutes, une lame d'eau à épurer capable d'être absorbée en 50 secondes par la masse des

scories, avec un débit journalier moyen d'un mètre cube d'eau par mètre carré de surface filtrante.

On se rappelle que, tout d'abord, le liquide évacué par ces chasses était simplement réparti par des rigoles peu profondes, creusées parallèlement les unes aux autres et espacées d'environ 0^{m},60 sur toute la longueur du lit bactérien, soit sur 14 mètres.

Nous n'avons pas tardé à nous convaincre que ce système de distribution était défectueux : l'intensité et la rapidité des chasses entraînaient trop souvent les matériaux les plus légers vers l'extrémité des rigoles, de sorte que celles-ci se déformaient et finissaient par se colmater. Pour obvier à cet inconvénient, nous avions été conduits à adopter des canaux *couverts*, formés de simples briques creuses, alignées bout à bout, sans rejointoiement, sur toute la longueur des rigoles.

Celles-ci fonctionnèrent très bien pendant six mois. Mais au moment des grands froids que nous eûmes à subir durant la saison d'hiver, la gelée les fit éclater ; de sorte que la répartition devint inégale et il fallut songer à trouver un moyen de distribution plus pratique.

Nous décidâmes alors d'expérimenter, pour chacun de nos six siphons de chasses, un système différent.

Le *siphon n°* 1 desservit un simple réseau de gouttières en bois goudronné, en forme de V, coupées d'un trait de scie dans l'angle, tous les 20 centimètres, et reposant directement sur les scories.

Au début, l'infiltration de l'eau se faisait très bien et très régulièrement par ces fentes. Mais au bout de quelques jours elles se bouchèrent fréquemment, soit par l'apport de poussières, soit par la formation de zooglées bactériennes. On était par suite obligé de les nettoyer trop souvent et nous dûmes les écarter.

Le *siphon n°* 2 déversa son effluent dans un réseau parallèle de drains cylindriques en terre cuite, longs de 0^{m},50 et également placés bout à bout sur les scories, sans rejointoiement. Pour vérifier si la répartition de l'eau y était convenable, nous intercalâmes tous les deux mètres, entre les extrémités contiguës de deux drains, des tuiles formant regards. Le dernier drain de chaque rang était obstrué par du mortier : on

évitait ainsi que le flot puisse s'évacuer par l'extrémité du canal.

Ces drains nous donnèrent la plus complète satisfaction. Même par les grands froids (— 12°) que nous eûmes à subir en janvier et février 1907, ils sont restés intacts et ne se sont jamais obstrués. Leurs interstices se sont maintenus parfaitement perméables. Quelques-uns d'entre eux seulement ont fini par se colmater après six mois de fonctionnement continu. Pour les remettre en état, il suffisait de les retourner sur eux-mêmes sans les déplacer, de manière à mettre en dessus la partie qui se trouvait en dessous. Cette manœuvre est des plus simples ; nous n'avons eu à l'exécuter qu'une seule fois en dix mois et seulement pour les drains placés à l'extrémité des rigoles de déversement.

Le prix de ces drains étant minime (90 francs le mille) et leur durée paraissant devoir être illimitée, il nous paraît jusqu'ici qu'ils constituent le système de distribution le plus économique en même temps que le plus robuste.

Pour les *siphons n° 3* et *n° 4* nous avons conservé, d'abord à titre de comparaison, les briques creuses de l'année dernière, en nous bornant à remplacer celles que la gelée faisait éclater.

Les résultats obtenus, quoique bons, ont été inférieurs à ceux fournis par les drains ; et l'emploi de ces briques nécessite, en raison de leur gélivité et de leur trop facile colmatage, une main-d'œuvre trop onéreuse. Aussi n'avons-nous pas tardé à leur substituer les mêmes drains qu'au n° 2.

Pour le *siphon n° 5*, la répartition a été faite au moyen de larges tuiles à fond plat, à bords relevés à angle de 45° sur 0m,10 de hauteur et longues de 0m,25. Ces tuiles, que nous avons dû faire fabriquer tout exprès, étaient munies de couvercles mobiles. Placées bout à bout sur toute la longueur des rigoles avec une pente convenable d'environ 0m,02 par mètre, elles assuraient un écoulement facile au produit des chasses. Il était très aisé de les visiter et de les balayer de temps en temps en enlevant leurs couvercles. Malheureusement leur poids relativement considérable amena bientôt un tassement des scories sous-jacentes. Les interstices se bouchaient, ou bien, si on les écartait quelque peu, ils laissaient

échapper trop de liquide, de sorte que la répartition devenait inégale. En fin de compte nous y renonçâmes pour revenir aux drains.

Le *siphon n° 6* nous servit à expérimenter un système de canalisation métallique formé de tuyaux en fer, de 50 millimètres de diamètre intérieur, percés de chaque côté, tous les 25 centimètres, de trous circulaires en quinconces, larges de 6 millimètres. L'orifice de chacun de ces trous est dirigé de telle manière que l'eau est projetée latéralement à angle d'environ 45°. D'autres trous espacés d'un mètre les uns des autres sont placés sur le plancher même des tubes, de manière à assurer leur vidange complète après chaque chasse. L'extrémité est obturée par un bouchon.

Les tubes parallèles, au nombre de 6 sur 14 mètres de longueur et sur 4 mètres de largeur, sont tous reliés au canal de distribution du siphon de chasse par un large cylindre creux muni de bouches verticales d'aération. La pression intérieure s'équilibre ainsi parfaitement.

Placés directement sur les scories avec une légère pente de 2 centimètres par mètre, ils laissent très facilement écouler l'eau sous une pression qui varie suivant la hauteur de chute du réservoir de chasse et qui diminue au fur et à mesure que ce dernier se vide. Les jets, d'abord écartés, retombent à environ $0^{m},40$ de chaque côté, puis se rapprochent pour finir en minces ruisselets baveurs. La répartition de l'eau s'effectue ainsi d'une manière parfaite.

Les orifices des tuyaux ne s'obstruent que très rarement, à cause des variations brusques de pression qui se produisent à leur intérieur. Leur nettoyage est d'ailleurs aisé en raison de la facilité avec laquelle on peut démonter tout ou partie du système.

Un tel dispositif répond à merveille aux nécessités d'une distribution à la fois *régulière* et *intermittente*. Son seul inconvénient est de coûter notablement plus cher que les drains en terre cuite; mais nous n'hésitons pas à le recommander, de préférence à tous autres, pour les installations de faible importance et même pour les installations urbaines lorsqu'on n'est pas arrêté par la question d'économie.

Il présente la plupart des avantages des appareils anglais

connus sous le nom de *jets* ou *fixed sprinklers* (voir volume II, p. 93), avec cette différence que l'eau n'étant pas pulvérisée en l'air, les odeurs désagréables pour le voisinage sont évitées, et qu'il n'est plus indispensable de propulser, soit artificiellement, soit par une différence de niveau considérable, l'eau à répartir sur le lit bactérien.

*
* *

En résumé, nos expériences montrent que les seuls systèmes pratiques de distribution auxquels il convienne de s'adresser sont les drains en terre cuite ou les tuyaux métalliques latéralement perforés en quinconces. Jusqu'à présent du moins, eux seuls nous ont donné de bons résultats avec le minimum de différence de niveau entre le point d'arrivée des eaux à épurer et la surface des lits bactériens.

Est-ce à dire que ces systèmes soient *meilleurs* que certains appareils mécaniques en usage en Angleterre et en Allemagne, tels que les *tourniquets hydrauliques* ou *sprinklers*, les *jets fixes pulvérisateurs*, les *distributeurs rotatifs* ou *rectangulaires* de *Fiddian*, de *Wilcox et Raikes*, etc.?... Nous n'avons aucunement la pensée d'émettre une telle affirmation.

Plusieurs de ces appareils mécaniques, particulièrement le *Fiddian*, ont été étudiés par nous et nous ont donné toute satisfaction. Mais ils coûtent cher, non seulement comme frais d'achat — car tous font l'objet de brevets — mais aussi comme frais d'entretien. Les uns sont actionnés par une force mécanique, — électricité ou vapeur — et ils élèvent par suite à un chiffre exagéré le prix de revient du mètre cube d'eau épurée. Les autres nécessitent un ou deux mètres de différence de niveau pour être mis en mouvement par la seule pression du liquide. Tous exigent une surveillance et des réparations incessantes.

Ce sont là, à notre avis, des raisons assez graves pour qu'on hésite à les adopter. C'est pourquoi nous avons cherché à nous en affranchir, estimant que les villes et même les industriels ne se décideront volontiers à épurer leurs eaux d'égout que lorsque cette épuration pourra être réalisée dans des conditions, sinon absolument *parfaites*, du moins *satisfaisantes, à très peu de frais*.

Nous ne méconnaissons pourtant pas que, dans quelques cas particuliers et exceptionnels, il soit indiqué d'adopter de préférence une distribution mécanique. Les circonstances locales dicteront alors le choix qu'il convient d'effectuer parmi les appareils qui ont fait leurs preuves. Nous avons déjà précédemment décrit la plupart d'entre eux. Nous ferons connaître, dans un chapitre ultérieur, ceux que nous n'avons pas encore eu l'occasion de mentionner.

Bornons-nous à rappeler ici que ceux-là seuls peuvent être adoptés, qui assurent, à la surface des lits bactériens, une *distribution régulière*, *intermittente*, *réglable à volonté*, et qui ne sont influencés dans leur fonctionnement ni par les *vents* ni *par la température, ni par les substances chimiques qui se trouvent en dissolution dans les eaux d'égout*.

CHAPITRE II

RÉSULTATS ANALYTIQUES DES EXPÉRIENCES DE LA MADELEINE

Eau d'égout brute: Effluent des fosses septiques; Effluents des lits bactériens de contact et des lits percolateurs.

Du 1er juillet 1906 au 30 juin 1907 nous avons continué à faire chaque jour des analyses sommaires portant sur :

a) *L'oxygène emprunté au permanganate en 4 heures;*

b) *L'oxygène emprunté au permanganate en 3 minutes, avant et après incubation à 30°* (pour les eaux épurées seulement; *indice de putrescibilité*);

c) *L'ammoniaque;*

d) *Les nitrates.*

En outre, en janvier, mars, mai et juin 1907, pendant une période de six jours pour chaque mois, nous avons procédé à des analyses plus complètes portant sur :

1° *Les matières organiques et minérales en suspension dans l'eau brute;*

2° *Les matières organiques en solution* (double dosage par le permanganate en solution acide et en solution alcaline);

3° *L'azote total;*

4° *L'ammoniaque libre ou saline;*

5° *L'azote organique, total et dissous;*

6° *Les nitrates;*

7° *Les nitrites;*

8° *Le carbone organique, total et dissous.*

*
* *

Nous ne reviendrons point ici sur l'exposé des méthodes employées pour ces analyses. Le lecteur voudra bien se

reporter aux détails que nous avons fournis à ce sujet dans notre premier volume (Chap. V, pages 45 et suivantes).

Nous avons porté spécialement notre attention sur le travail des fosses septiques, qui est encore le moins bien connu. L'analyse de l'eau à l'entrée et à la sortie de ces fosses a été effectuée en prélevant, comme les années précédentes, des échantillons moyens dans les bassins d'échantillonnage (voir le *plan* de la station expérimentale de la Madeleine, volume II, *planche* I et *fig.* 2, page 4).

Les quantités d'eau traitées sur les lits bactériens ont été inférieures à celles de 1905-1906. Les lits de contact n'ont travaillé qu'une seule fois par 24 heures, à raison de 68 mètres cubes, les lits à percolation recevant en moyenne 200 mètres cubes d'eau d'égout par jour (maximum 371 m^3). Ces nombres résultent des indications fournies par les enregistreurs placés dans chacun de nos réservoirs de chasses.

L'analyse de l'effluent de chaque lit de contact était effectuée sur un échantillon moyen constitué par le mélange d'échantillons prélevés toutes les cinq minutes à partir de l'ouverture de la vanne d'évacuation.

Celle de l'effluent des lits percolateurs était faite sur un échantillon du bassin d'échantillonnage.

Les tableaux I et II indiquent les résultats fournis par les analyses complètes des quatre périodes de six jours chacune, indiquées ci-dessous.

Leur lecture montre que la *nitrification* a toujours été très active dans le lit percolateur et qu'elle a été fort peu influencée par la rigueur, pourtant exceptionnelle, de l'hiver. L'azote ammoniacal disparaît souvent en totalité. Il en restait $0^{mgr},5$ par litre en *janvier* et en *juin*.

L'azote organique semble résister davantage, à certaines époques, à la minéralisation.

*
* *

Oxygène emprunté en 3 minutes au permanganate avant et après incubation à l'étuve à 30°. — La moyenne des résultats obtenus par cette détermination a été représentée par les tableaux III et IV, ainsi que par le graphique n° 1, indiquant les variations par semaine.

La moyenne annuelle montre immédiatement la façon dont se comportent les divers effluents à l'épreuve de l'incubation à 30°.

L'effluent du lit de 1er contact est nettement putrescible. Au contraire, pour les effluents du lit de 2e contact et pour ceux du lit à percolation, l'épuration se continue, et l'augmentation de la minéralisation se trouve indiquée par la diminution de la quantité de matières oxydables en 3 minutes par le permanganate, après incubation.

Pendant les 4 périodes d'analyses, nous avons effectué plusieurs déterminations sur les effluents après une incubation de 7 jours. Les résultats en sont réunis dans le tableau IV.

L'effluent du lit de 1er contact a une tendance à la putréfaction. L'oxygène absorbé en 3 minutes après incubation diminue peu ou augmente. Au contraire, après le 2e contact et pour le lit à percolation, malgré la présence des nitrites en quantité quelquefois importante, l'oxygène absorbé est moindre après incubation qu'avant, ou sensiblement égal.

L'ammoniaque est en augmentation sensible dans l'effluent de 1er contact; quelquefois en augmentation aussi pour le 2e contact, mais toujours en diminution pour l'effluent du lit à percolation.

Les nitrates diminuent toujours et quelquefois très fortement après incubation dans l'effluent du 1er contact; ils diminuent aussi sensiblement dans celui du 2e contact; ils diminuent peu et augmentent au contraire souvent dans l'effluent du lit à percolation.

Il se forme parfois de petites quantités de nitrites dans l'effluent du lit de 1er contact; il s'en forme davantage dans celui de 2e contact et dans celui du lit bactérien à percolation.

Nous avons trouvé encore cette année une confirmation des conclusions que nous donnions l'an dernier: dans un effluent à tendance putréfactive, après incubation, l'oxygène absorbé en 3 minutes et l'ammoniaque augmentent; les nitrates diminuent. Si l'effluent est nettement putrescible, les nitrates et les nitrites disparaissent.

Lorsqu'un effluent contient moins d'ammoniaque et absorbe moins d'oxygène en 3 minutes, même si la quantité de nitrates diminue, il n'y a à craindre aucune putréfaction. Nous pouvons

TABLEAU I. — **Résultats e[illegible]**

DATES DES PÉRIODES D'ANALYSES	NATURE DE L'ÉCHANTILLON	VOLUME MOYEN EN MC PAR 24 HEURES	MATIÈRES EN SUSPENSION		OXYGÈNE ABSORBÉ		
			ORGANIQUES	MINÉRALES	EN 3 MINUTES	EN 3 MINUTES APRÈS INCUBATION	[illegible]
Du 13 au 19 janvier 1907	Eau brute	335,000	101,8	121,6	»	»	28,
	Effluent des fosses septiques	335,000	traces	traces	»	»	24,
	Effluent du lit bactérien :						
	— 1er contact	68,000	»	»	7,0	8,0	15.
	— 2e contact	68,000	»	»	4,2	3,2	10
	Effluent du lit bactérien à siphons percolateurs	167,500	»	»	1,6	1,8	5.
Du 17 au 23 mars	Eau brute	388,300	200,6	194,1	»	»	32
	Effluent des fosses septiques	388,300	»	»	»	»	28
	Effluent du lit bactérien :						
	— 1er contact	68,000	»	»	5,0	3,9	16
	— 2e contact	68,000	»	»	3,0	2,5	10
	Effluent du lit bactérien à siphons percolateurs	194,150	»	»	1,9	1,7	6
Du 5 au 11 mai 1907	Eau brute	284,600	75,6	80,0	»	»	27
	Effluent des fosses septiques	284,600	»	»	»	»	27
	Effluent du lit bactérien :						
	— 1er contact	68,000	»	»	7,6	7,2	16
	— 2e contact	68,000	»	»	4,7	2,9	11
	Effluent du lit bactérien à siphons percolateurs	142,500	»	»	1,8	1,5	4
Du 16 au 22 juin 1907	Eau brute	422,000	120,0	119,0	»	»	31
	Effluent des fosses septiques	422,000	»	»	»	»	2[illegible]
	Effluent du lit bactérien :						
	— 1er contact	68,000	»	»	12,3	16,1	2[illegible]
	— 2e contact	68,000	»	»	4,6	4,2	1[illegible]
	Effluent du lit bactérien à siphons percolateurs	211,000	»	»	1,6	1,8	[illegible]

…igrammes par litre.

…TIÈRES …ANIQUES (…osage …manganate …oxygène.)	CARBONE ORGANIQUE EN C			AMMONIAQUE EN AzH^3	AZOTE EN Az				NITRATES EN Az^2O^5	NITRITES EN Az^2O^5
						ORGANIQUE				
EN SOLUTION ALCALINE	TOTAL	DISSOUS	EN SUSPENSION		AMMONIACAL	TOTAL	DISSOUS	EN SUSPENSION		
65,3	121,6	59,3	62,3	14,1	11,6	15,1	8,0	7,1	»	»
50,8	»	53,7	»	13,3	10,9	»	9,8	»	»	»
51,6	»	41,3	»	8,6	7,0	»	6,9	»	3,1	0,0
20,9	»	24,3	»	4,9	4,0	»	4,9	»	10,0	0.0
7,8	»	9,8	»	0,4	0,3	»	2,7	»	33,5	0,0
83,3	212,0	91,2	120,8	16,1	13,2	19,1	10,7	8,4	»	»
70,8	»	66,9	»	17,3	14,1	»	10,7	»	»	»
28,7	»	44,9	»	6,9	5,6	»	7,6	»	12,0	0,0
20,7	»	28,3	»	3,9	3,2	»	6,0	»	21,6	0,3
12,2	»	12,2	»	1,7	1,3	»	2,2	»	36,5	1,5
57,5	89,2	52,7	36,5	11,3	9,3	8,5	6,5	2,0	»	»
47,1	»	45,8	»	12,2	10,0	»	13,0	»	»	»
28,3	»	37,2	»	6,9	5,6	»	7,8	»	4,9	0,4
20,1	»	26,7	»	4,4	3,6	»	6,5	»	23,7	1,9
8,7	»	16,3	»	0,7	0,5	»	1,8	»	48,8	0,9
78,3	104,2	77,2	27,0	15,7	12,9	11,8	7,5	4,3	»	»
58,6	»	53,7	»	15,0	12,3	»	9,6	»	»	»
38,8	»	41,4	»	9,2	7,5	»	8,9	»	2,0	0,2
22,0	»	28,9	»	4,8	3,9	»	7,9	»	12,0	0,8
9,5	»	13,3	»	0,4	0,3	»	3,9	»	33,8	0,4

Tableau II. — **Résultats comparés de l'épuration par le procédé de double contact et par la percolation.**

	PÉRIODES (milligrammes par litre).																MOYENNE			
	du 15 au 19 janvier				du 17 au 25 mars				du 5 au 11 mai				du 16 au 22 juin							
	Oxygène absorbé en 4 heures.	Azote ammoniacal.	Azote organique.	Nitrates.	Oxygène absorbé en 4 heures.	Azote ammoniacal.	Azote organique.	Nitrates.	Oxygène absorbé en 4 heures.	Azote ammoniacal.	Azote organique.	Nitrates.	Oxygène absorbé en 4 heures.	Azote ammoniacal.	Azote organique.	Nitrates.	Oxygène absorbé en 4 heures.	Azote ammoniacal.	Azote organique.	Nitrates.
Effluent des fosses septiques . .	24,2	10,9	9,8	0,0	28,5	14,1	10,7	0,0	27,0	9,2	15,0	0,0	29,1	10,9	9,6	0,0	27,2	11,5	10,8	0,0
Épuration après 2 contacts. .	10,1	4,0	4,9	10,0	10,7	5,2	6,0	21,6	11,8	5,6	6,5	25,7	12,7	5,9	7,9	12,0	11,5	5,6	6,5	16.8
Épuration après percolation. .	5,8	0,5	2,7	55,5	6,1	1,5	2,2	56.5	4,5	0,5	1 8	48,8	5,5	0.5	5,9	55,8	4,9	0,6	2,6	59,1

Tableau III. — **Oxygène absorbé en 3 minutes avant et après incubation à 30°.**

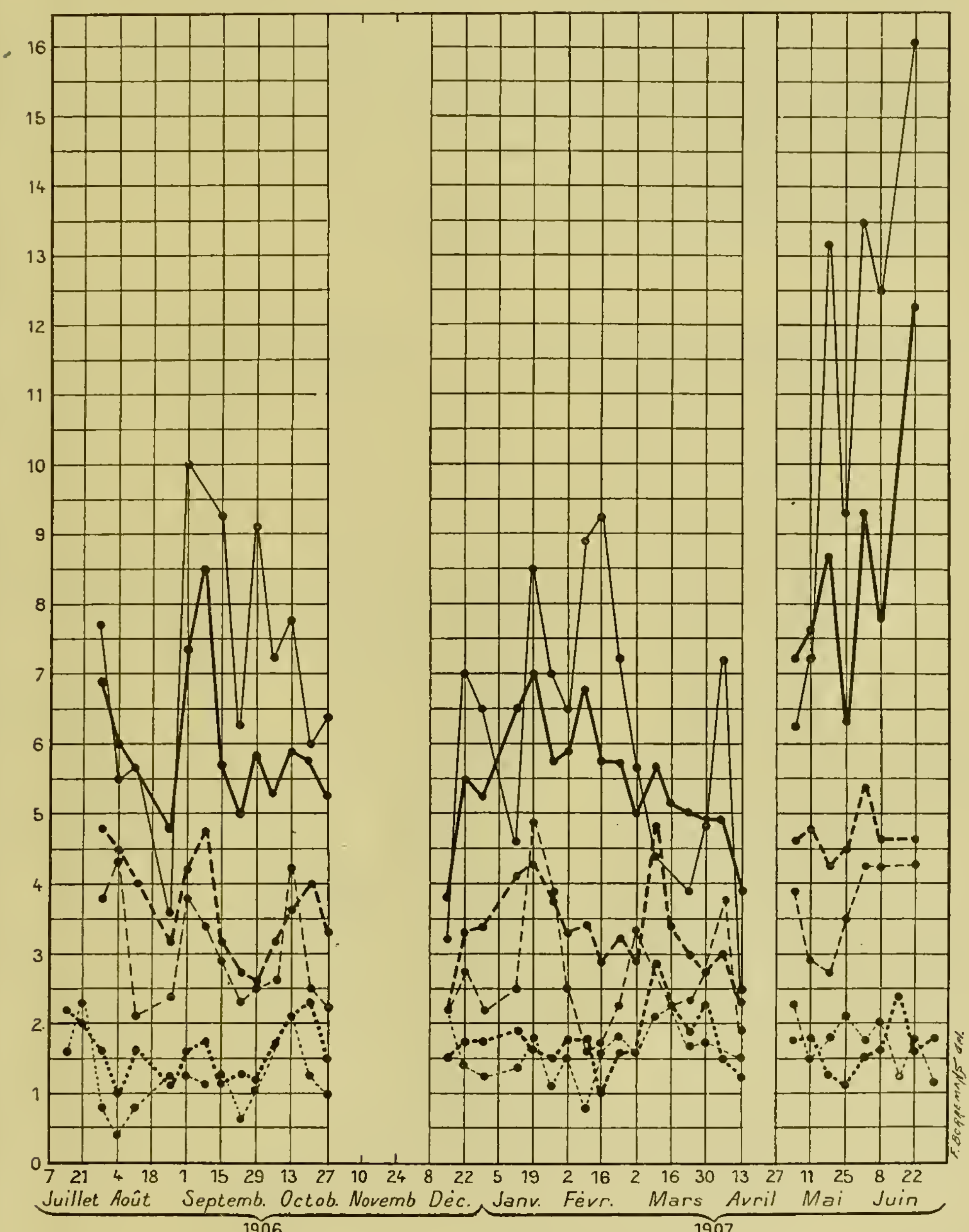
a) avant incubation. — *b*) après incubation.

DATES		LITS BACTÉRIENS B1 1er contact		LITS BACTÉRIENS B2 2e contact		LIT BACTÉRIEN À SIPHONS PERCOLATEURS	
		a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
Juillet 1906 .	Du 2 au 7.	»	»	»	»	»	»
	— 9 — 14.	»	»	»	»	2,2	1.6
	— 16 — 21.	»	»	»	»	2,0	2,3
	— 23 — 28.	6,9	7.7	4,8	3,8	1,6	0,8
	— 30 — 4.	6,0	5,5	4,5	4,4	1,0	0,4
Aout	Du 6 au 11.	5,6	5,6	4,0	2,1	1,6	0.8
	— 13 — 18.	»	»	»	»	»	»
	— 20 — 25.	4,7	3,6	3,1	2,4	1,1	1,3
	— 27 — 1.	7,4	10,0	4,2	3,8	1,6	1,3
Septembre . .	Du 3 au 8.	8,5	9,6	4,7	3.4	1,7	1,1
	— 10 — 15.	5,7	9,3	3,1	2,9	1,2	1,3
	— 17 — 22.	5,0	6,2	2,7	2,3	1,3	0,6
	— 24 — 29.	5.8	9,1	2,6	2,5	1,2	1,1
Octobre . . .	Du 1er au 6.	5,5	7,2	3,1	2.6	1,8	1,8
	— 8 — 13.	5.9	7,8	3,6	4,2	2,1	2,1
	— 15 — 20.	5.8	6,0	4.0	2,5	2,3	1,3
	— 22 — 27.	5,3	6,4	3.3	2,2	1,5	1,0
	— 29 — 9.	»	»	»	»	»	»
Décembre. . .	Du 11 au 15.	3,8	3.2	2.1	2,2	1,5	2,5
	— 17 — 22.	5,5	7,0	3,3	2,8	1,7	1,4
	— 24 — 29.	5,2	6,5	3,4	2,1	1,7	1.3
	— 31 — 5.	»	»	»	»	»	»
Janvier 1907 .	Du 7 au 12.	6,5	4,6	4,1	2,5	1,9	1,4
	— 14 — 19.	7,0	8,6	4.2	4,9	1,6	1,8
	— 21 — 26.	5,8	7,0	3.7	3,8	1,5	1,1
	— 28 — 2.	5,9	6,5	3,3	2,5	1,8	1,5
Février. . . .	Du 4 au 9.	6,8	8,9	3,4	1,6	1,8	0,8
	— 11 — 16.	5,7	9,2	2,9	1,7	1,0	1,6
	— 18 — 23.	5,7	7,2	3,2	2,3	1,6	1,7
	— 25 — 2.	5,0	5.6	2,9	3,4	1,6	1,6
Mars.	Du 4 au 9.	5,6	4,4	4,8	2,7	2,9	2,1
	— 11 — 16.	5,1	4,1	5,4	2,2	2,2	2,2
	— 18 — 23.	5,0	3,9	3,0	2,3	1,9	1,7
	— 25 — 30.	4,9	4,8	2,7	2,7	2,2	1,7
Avril.	Du 2 au 6.	4,9	7.1	3,0	3,8	1,5	1,6
	— 8 — 11.	3,9	2,5	2,4	1.9	1,2	1,5
	— 13 — 30.	»	»	»	»	»	»
Mai.	Du 1er au 4.	7,2	6,2	4,6	3,9	1,8	2,3
	— 5 — 11.	7,6	7,2	4,7	2,9	1,8	1,5
	— 13 — 18.	8,6	13,1	4,2	2.8	1,3	1,9
	— 20 — 25.	6,3	9,4	4,5	3,5	1,1	2,1
	— 27 — 1er.	9,4	13,5	5,4	4,2	1,5	1.8
Juin.	Du 3 au 8.	7,8	12,5	4,6	4,2	1,6	2,0
	— 10 — 15.	»	»	»	»	2,4	1,2
	— 17 — 22.	12,3	16,1	4,6	4,2	1,6	1,8
	— 24 — 29.	•	»	»	»	1,8	1,1
Moyenne de juillet 1906 à juin 1907.		5,6	7,4	3,6	2,9	1.67	1,58

Tableau IV. — **Analyse des effluents des lits bactériens après 7 jours d'incubation à 30°.**

ÉCHANTILLONS.		PÉRIODES — du 15 au 19 janvier 1907				du 17 au 25 mars 1907				du 5 au 11 mai 1907				du 16 au 22 juin 1907			
		Oxygène absorbé en 5 minutes.	Ammoniaque AzH^3	Nitrates Az^2O^5	Nitrites Az^2O^3	Oxygène absorbé en 5 minutes.	Ammoniaque AzH^3	Nitrates Az^2O^5	Nitrites Az^2O^3	Oxygène absorbé en 5 minutes.	Ammoniaque AzH^3	Nitrates Az^2O^5	Nitrites Az^2O^3	Oxygène absorbé en 5 minutes.	Ammoniaque AzH^3	Nitrates Az^2O^5	Nitrites Az^2O^3
Lit bactérien 1er contact	Avant incubation.	7,0	8,6	5,1	0,0	5,0	6,9	12,0	0,0	7,6	6,9	4,9	0,4	12,5	9,2	2.0	0,2
	Après incubation.	8,0	8.2	0,0	0,0	5,9	8,9	0.5	1,0	7,2	8,0	1,6	0,5	16,1	12,5	0,2	0,4
Lit bactérien 2e contact	Avant incubation.	4,2	4,9	10,0	0,0	5,0	5,9	21,6	0,5	4,7	4,4	25,7	1,9	4,6	4,8	12,0	0,8
	Après incubation.	5,2	4,9	2,5	1,5	2,5	5,5	8,1	4,9	2,9	4,6	14,0	2,6	4.2	6,2	8.1	1,2
Lit bactérien à percolation.	Avant incubation.	1,6	0,4	55,5	0,0	1,9	1,7	56,5	1,5	1,8	0,7	48,8	0,9	1,6	0,4	55,8	0,4
	Après incubation.	1,8	0,1	59,5	0,5	1,7	0,2	24,0	2,4	1,5	0,5	46,8	2,8	1,8	0,2	40,5	0,7

ajouter que l'ammoniaque peut même augmenter en faible proportion, produite aux dépens des matières organiques



Graphique n° 1. — Oxygène absorbé en 3 minutes.

Effluent du lit de 1er contact ——— avant incubation ——— après incubation.
— — 2e — - - - - . . — - - - - —
— du lit à percolation - - - - - - - — - - - - - - - - —

azotées encore présentes dans l'effluent, sans qu'il y ait tendance à la putréfaction, *pourvu qu'il puisse persister une cer-*

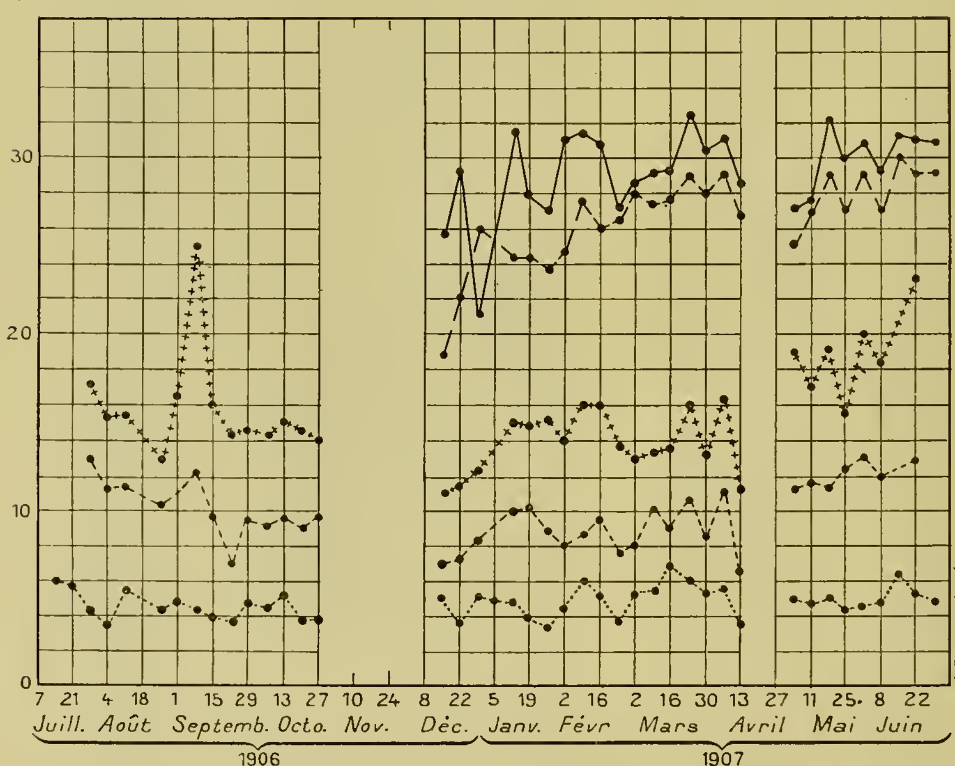
taine quantité de nitrates, comme le montre l'exemple de l'effluent du lit de 2e contact pour la période de juin.

Enfin, lorsque la quantité d'ammoniaque diminue et que les nitrates et nitrites augmentent, l'effluent peut être rejeté sans inconvénients dans les cours d'eau, car non seulement il terminera seul sa purification, mais il pourra aider à la minéralisation des matières organiques que contiendraient les eaux dans lesquelles il est déversé.

(*Tableaux* III et IV. — *Graphique* n° 1.)

*
* *

Oxygène absorbé en 4 heures. — Cette détermination, moins longue et moins délicate que l'oxydabilité à chaud (matières



Graphique n° 2. — Oxygène absorbé en 4 heures.

————	Eau brute.
— — — -	Effluent des fosses septiques.
+ + + + + +	— du lit de 1er contact.
- - - - - - - -	— — 2e —
············	— — à percolation.

organiques, dosage au permanganate), est utile pour se rendre compte du degré d'épuration totale.

TABLEAU V.

Oxygène absorbé en 4 heures (*milligr. par litre*).

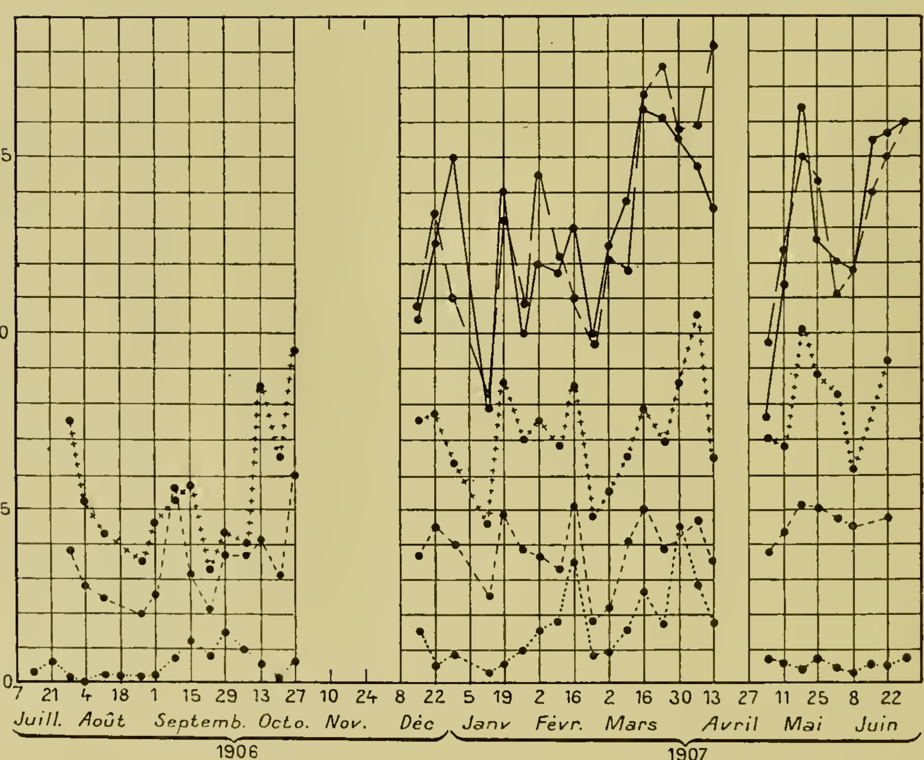
DATES		EAU BRUTE	FOSSES SEPTIQUES	LITS BACTÉRIENS 1er CONTACT	LITS BACTÉRIENS 2e CONTACT	LITS BACTÉRIENS A SIPHONS PERCOLATEURS
JUILLET 1906. .	Du 9 au 14.	»	»	»	»	6,1
	— 16 — 21.	»	»	»	»	5,8
	— 23 — 28.	»	»	17,2	12,9	4,1
	— 30 — 4.	»	»	15,3	11,4	3,4
AOUT	Du 6 au 11.	-	»	15,5	11,5	5,7
	— 13 — 18.	»	»	»	»	»
	— 20 — 25.	»	»	13,2	10,3	4,3
	— 27 — 1.	»	»	16,6	10,8	4,7
SEPTEMBRE . .	Du 3 au 8.	»	»	25,1	12,1	4,2
	— 10 — 15.	»	»	16,2	9,7	4,1
	— 17 — 22.	»	»	14,2	7,4	3,7
	— 24 — 29.	»	»	14,4	9,6	4,6
OCTOBRE . . .	Du 1er au 6.	»	»	14,2	9,2	4,5
	— 8 — 13.	»	»	15,1	9,6	5,2
	— 15 — 20.	»	»	14,3	9,0	3,9
	— 22 — 27.	»	»	14,0	9,7	3,8
NOVEMBRE		»	»	»	»	»
DÉCEMBRE. . .	Du 11 au 15.	25,7	18,7	10,6	7,0	5,2
	— 17 — 22.	29,3	22,1	11,6	7,1	3,6
	— 24 — 29.	21,2	26,0	12,4	8,3	3,3
	— 31 — 5.	»	»	»	»	»
JANVIER 1907 .	Du 7 au 12.	31,7	24,1	13,4	10	4,9
	— 14 — 19.	28	24,2	13,1	10,1	3,8
	— 21 — 26.	27,2	23,8	13,4	8,8	3,4
	— 28 — 2.	31	24,7	13,8	8,0	4,3
FÉVRIER. . . .	Du 4 au 9.	31,5	27,6	16	8,6	5,9
	— 11 — 16.	30,7	26,1	15,8	9,6	4,8
	— 18 — 23.	27,2	26,3	13,6	7,5	3,7
	— 25 — 2.	28,5	28	12,8	8,1	3,4
MARS	Du 4 au 9.	29,1	27,3	13,3	10,2	5,6
	— 11 — 16.	29,2	27,8	13,6	9,0	6,7
	— 18 — 23.	32,3	28,3	16,1	10,7	6,1
	— 25 — 30.	30,4	27,9	13,3	8,3	5,6
AVRIL.	Du 2 au 6.	31,2	28,9	16,3	11,1	5,8
	— 8 — 13.	28,2	26,6	11,3	6,3	3,7
	— 15 — 30.	»	»	»	»	»
MAI.	Du 1er au 4.	26,7	24,9	18,8	11,3	4,7
	— 6 — 11.	27,7	27	16,6	11,8	4,5
	— 13 — 18.	32,2	29	19	11,5	4,6
	— 20 — 25.	30	27	15,7	12,4	4,1
	— 27 — 1.	30,3	29,1	20	13	4,4
JUIN.	Du 3 au 8.	29,2	27,1	18,3	11,9	4,6
	— 10 — 15.	31,2	30,1	»	»	6,3
	— 17 — 22.	31,0	29,1	23,3	12,7	5,3
	— 24 — 29.	30,9	29,1	»	»	4,8
Moyenne de décembre 1906 à juin 1907.		29,3	26,3	13,2	9,7	5,0

Pour les lits de contact, et bien qu'il n'y eût eu qu'un seul contact par jour, les résultats généraux sont sensiblement les mêmes que ceux des années précédentes.

Pour le lit à percolation, les résultats généraux, comme ceux de chaque période d'analyse, sont supérieurs à ceux des lits de 2e contact. Il y a lieu de remarquer que la pollution de l'eau brute est plus grande à cet égard cette année qu'en 1905-1906. Le coefficient d'épuration obtenu a été de 83 pour 100. (Voir *tableau* V et *graphique* n° 2.)

*
* *

Ammoniaque libre ou saline. — Dans l'effluent des lits de contact il reste sensiblement autant d'ammoniaque que l'an



Graphique n° 3. — Ammoniaque libre et saline.

——— Eau brute.
— — — Effluent des fosses septiques.
+ + + + + — du lit de 1er contact.
- - - - - - — — 2e —
·········· — — à percolation.

dernier. On peut cependant dire que l'épuration est un peu meilleure, car la quantité d'ammoniaque dans l'effluent des fosses septiques était plus grande qu'en 1905-1906.

TABLEAU VI.

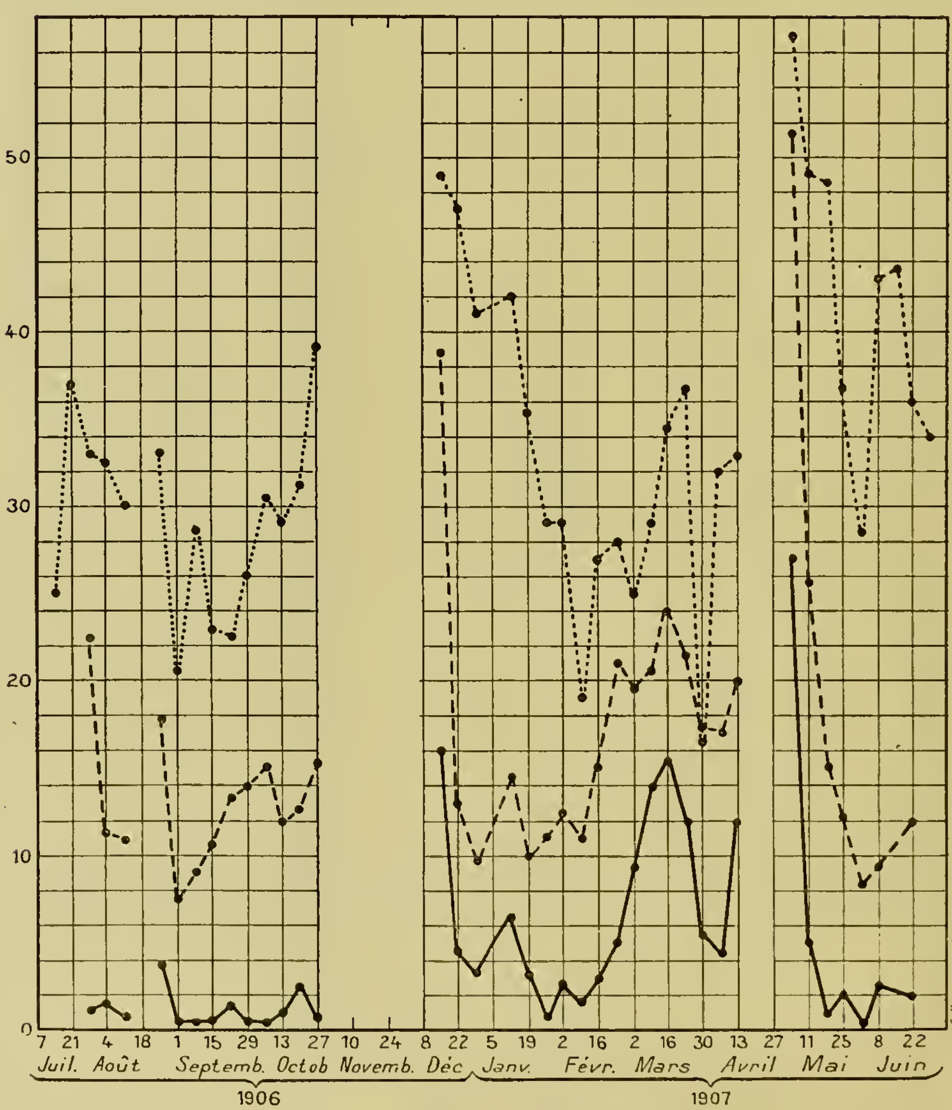
Ammoniaque libre ou saline *(milligr. par litre).*

DATES		EAU BRUTE	FOSSES SEPTIQUES	LITS BACTÉRIENS 1er CONTACT	LITS BACTÉRIENS 2e CONTACT	LITS BACTÉRIENS A PERCOLATION
JUILLET 1906. .	Du 9 au 14.	»	»	»	»	0,3
	— 16 — 21.	»	»	»	»	0,5
	— 23 — 28.	»	»	7,5	3,9	0,1
	— 30 — 4.	»	»	5,2	2,8	0
AOUT	Du 6 au 11.	»	»	4,2	2,3	0,1
	— 13 — 18.	»	»	»	»	»
	— 20 — 25.	»	»	3,5	2,0	0,1
	— 27 — 1.	»	»	4,6	2,6	0,1
SEPTEMBRE . .	Du 3 au 8.	»	»	5,2	5,5	0,8
	— 10 — 15.	»	»	5,8	3,1	1,1
	— 17 — 22.	»	»	3,3	2,3	0,9
	— 24 — 29.	»	»	4,2	3,8	1,4
OCTOBRE. . . .	Du 1 au 6.	»	»	4,0	3,8	1,1
	— 8 — 13.	»	»	8,3	4,1	0,6
	— 25 — 20.	»	»	6,4	3,1	0,1
	— 22 — 27.	»	»	9,5	6,0	0,6
NOVEMBRE		»	»	»	»	»
DÉCEMBRE. . .	Du 11 au 15.	10,4	10,5	7,3	3,8	1,6
	— 17 — 22.	12,6	13,3	7,5	4,4	0,4
	— 24 — 29.	15	11	6,2	4.0	0,9
	— 31 — 5.	»	»	»	»	»
JANVIER 1907 .	Du 7 au 12.	7,8	8	4,6	2,5	0,2
	— 14 — 19.	14,1	13,3	8,6	4.9	0,4
	— 21 — 26.	9,9	10,8	7	3.8	0,9
	— 28 — 2.	12,1	14,4	7,5	3,7	1,4
FÉVRIER. . . .	Du 4 au 9.	11,9	12,2	6,9	3,3	1,8
	— 11 — 16.	13	11	8,5	5,1	3,6
	— 18 — 23.	9,9	9,7	4,8	1,9	0,8
	— 25 — 2.	12,5	12,2	5,6	2,2	0,9
MARS	Du 4 au 9.	13,9	11,8	6,5	4,1	1,6
	— 11 — 16.	16,3	16,7	7,9	5,0	2,8
	— 18 — 23.	16,1	17,5	6,9	3,9	1,7
	— 25 — 30.	15,4	15,6	8,8	4,3	4,4
AVRIL	Du 2 au 6.	14,7	15,9	10,6	4,7	2,8
	— 8 — 13.	13,6	18,2	6,6	3,5	1,8
	— 15 — 30.	»	»	»	»	»
MAI.	Du 1er au 4.	7,7	9,6	7,1	3,8	0,8
	— 6 — 11.	11,3	12,2	6,9	4,4	0,7
	— 13 — 18.	16,3	15,1	10,2	5,1	0,4
	— 20 — 25.	12,7	13,3	8,8	5,0	0,7
	— 27 — 1.	11,9	11,1	8,2	4.8	0,3
JUIN.	Du 3 au 8.	11,8	11,7	6,1	4,5	0,2
	— 10 — 15.	15,6	14	»	»	0,4
	— 17 — 22.	15,7	15,0	9.2	4,8	0.4
	— 24 — 29.	16	16	»	»	0,7
Moyenne de décembre 1906 à juin 1907.		12,6	13,1	7,4	4,1	1,2

Nous avions fait remarquer l'an dernier que les résultats obtenus pour les lits à percolation s'amélioraient avec le temps. Cette amélioration est encore plus sensible cette année, et l'azote ammoniacal est réduit de 90 à 91 pour 100. (Voir *tableau* VI et *graphique* n° 3.)

*
* *

Nitrates. — Comme on le voit dans le graphique n° 4, la



Graphique n° 4. — Nitrates.

——— Effluent du lit de 1er contact.
- - - - - — — de 2e —
· · · · · · — — à percolation.

moyenne des résultats de l'année montre que la quantité de

nitrates formés dans le lit à percolation a été sensiblement double de celle qui est élaborée dans le lit bactérien de 2e contact. On peut aussi remarquer que, après les périodes pendant lesquelles les lits de contact n'ont pas fonctionné ou ont fonctionné irrégulièrement (ce qui est indiqué par l'absence de nombres portés à la courbe), la quantité de nitrates formés s'accroît considérablement. A ce moment la nitrification est plus active et les nitrates formés pendant ces repos sont entraînés par les premières immersions. (Voir *tableau* VII et *graphique* n° 4.)

*
* *

Nitrites. — Nous avons les mêmes constatations à faire que l'an dernier. Les nitrites se trouvent à l'état de traces le plus souvent dans l'effluent du lit de 1er contact. Dans celui du 2e contact la quantité en est dosable, mais moins forte que dans le lit à percolation.

La moyenne annuelle nous donne les chiffres suivants:

Effluent du lit de 1er contact, $0^{mgr},52$ par litre.
— 2e — $0^{mgr},47$ par litre.
— à percolation $0^{mgr},84$ par litre.

*
* *

Oxygène dissous. — Nous avons contrôlé les résultats obtenus l'an dernier. Nos analyses nous permettent de les confirmer : l'effluent du lit à percolation contient toujours plus d'oxygène dissous que celui du lit de 2e contact.

*
* *

Carbone organique. — Nous avons dosé par la méthode *Desgrez* modifiée le carbone total et le carbone dissous : la différence nous donnait le carbone des matières en suspension.

Pour toutes les périodes, le carbone dissous diminue après le passage dans les fosses septiques, assez légèrement en *janvier* et *mai*, plus fortement en *mars* et *juin*. Il y a lieu de faire remarquer que nos dosages ont été effectués sur l'eau décantée et non filtrée et qu'il existe toujours dans les eaux brutes

TABLEAU VII.

Nitrates en $Az^2 O^5$ (*milligr. par litre*).

DATES		LITS BACTÉRIENS		LIT BACTÉRIEN A SIPHONS PER-COLATEURS
		1er CONTACT	2e CONTACT	
JUILLET 1906	Du 2 au 7.	»	»	»
	— 9 — 14.	»	»	25,2
	— 16 — 21.	»	»	37,0
	— 23 — 28.	1,3	22,3	33,2
	— 30 — 4.	1,4	11,5	32,5
AOUT	Du 6 au 11.	0,9	11,2	30,0
	— 13 — 18.	»	»	»
	— 20 — 25.	3,8	17,8	33,0
	— 27 — 1er.	0,5	7,7	20,5
SEPTEMBRE	Du 3 au 8.	0,5	8,8	28,6
	— 10 — 15.	0,5	10,6	22,8
	— 17 — 22.	1,4	13.5	22,5
	— 24 — 29.	0,5	13,8	26,1
OCTOBRE	Du 1er au 6.	0,5	15,1	36,5
	— 8 — 13.	1,0	12,0	29,0
	— 15 — 20.	2,3	12,6	31,3
	— 22 — 27.	0,6	15,2	39,0
	— 29 — 9.	»	»	»
DÉCEMBRE	Du 11 au 15.	16,0	38,4	49.2
	— 17 — 22.	4,4	13,1	47,1
	— 24 — 29.	3,7	9,7	41,2
	— 31 — 5.	»	»	»
JANVIER 1907	Du 7 au 12.	6,5	14,6	41,8
	— 14 — 19.	3,1	10,0	35,5
	— 21 — 26.	0,7	11,2	29,0
	— 28 — 2.	2,7	12,3	29,0
FÉVRIER	Du 4 au 9.	1,7	11,0	19,0
	— 11 — 16.	2,8	14,8	27,1
	— 18 — 23.	5,0	21,0	28,0
	— 25 — 2.	9,6	19,5	25,0
MARS	Du 4 au 9.	13,9	20,3	29,1
	— 11 — 16.	15,4	24,0	34,3
	— 18 — 23.	12,0	21,6	36,5
	— 25 — 30.	5,6	17,1	16,4
AVRIL	Du 2 au 6.	4,2	16,8	31,8
	— 8 — 11.	11,8	19,8	32,6
	— 13 — 30.	»	»	»
MAI	Du 1er au 4.	27,1	51,5	57,2
	— 5 — 11.	4,9	25,7	48 8
	— 13 — 18.	0,8	15,3	48,5
	— 20 — 25.	2,1	12,2	36,5
	— 27 — 1er.	0,5	8,4	28,4
JUIN	Du 3 au 8.	2,5	9,4	43,0
	— 10 — 15.	»	»	45.5
	— 17 — 22.	2,0	12,0	35,8
	— 24 — 29.	»	»	34,0
Moyenne de juillet 1906 à juin 1907.		4,2	16.4	33,8

des matières colloïdales qui fermentent ou se déposent pendant le séjour en fosse septique, ce qui abaisse d'une façon sensible le taux de carbone organique dans l'effluent de ces fosses.

En prenant la moyenne des résultats obtenus pendant les 4 périodes, la proportion de carbone brûlé dans les lits est par rapport aux divers effluents :

Carbone.	Total.	Dissous.
Effluent du lit de Ier contact . . .	69 %	42 %
— — 2e — . . .	80 %	62 %
— — à percolation . .	90 %	82 %

*
* *

Azote organique. — L'enrichissement du liquide en azote organique comme en azote ammoniacal, que nous avons constaté l'an dernier, est plus manifeste cette année et montre d'une façon nette la dissolution des composés organiques azotés en suspension.

Ainsi, pour les 4 périodes d'analyses, on voit que, pour 100 parties d'azote organique total que l'eau brute contient, 59 parties se trouvent en dissolution tandis que, comparativement, l'effluent des fosses septiques en renferme, seulement à l'état dissous, 79 parties, d'où un gain de 20 parties, ce qui indique que 48,7 pour 100 des matières organiques azotées en suspension se dissolvent. Bien que nous n'attachions pas une plus grande importance qu'il ne convient à la valeur absolue de ces nombres, ils montrent cependant que la dissolution et la décomposition des matières organiques est très appréciable : c'est ce qui explique le peu de putrescibilité des boues extraites des fosses septiques. Ces boues, mises à égoutter dans un bassin, laissent d'abord dégager les odeurs sulfureuses qui les imprègnent, puis deviennent à peu près inodores. Il faut ajouter que, par suite, la valeur comme engrais de ces boues est très faible : elles ne peuvent être employées utilement que comme amendements.

Nous avons calculé pour la moyenne des 4 périodes d'analyses le pourcentage de disparition de l'azote organique par rapport à l'eau brute et à l'effluent des fosses septiques (pour

l'azote total comme pour l'azote dissous). La proportion est de :

	EAU BRUTE		EFFLUENT DES FOSSES SEPTIQUES
	Azote total.	Azote dissous.	Azote dissous.
Effluent du lit de 1er contact .	45 %	5 %	28 %
— — 2e — .	54 %	25 %	42 %
— — à percolation.	81 %	68 %	76 %

Les résultats sont analogues à ceux obtenus l'an dernier, sauf pour ceux comparés à l'effluent de la fosse septique par suite de l'enrichissement important de l'eau pendant son séjour dans les fosses.

*
* *

Matières organiques en solution. — Oxydabilité au permanganate. — Avec toutes les réserves que nous avons formulées l'an dernier, nous avons employé cette méthode d'évaluation des matières organiques parce que c'est la seule à laquelle nous puissions nous adresser pratiquement. Pendant les 4 périodes d'analyse, l'oxydabilité obtenue en solution alcaline a toujours été inférieure, quelquefois d'une façon notable, à la même détermination en solution acide. Comme pour toutes les autres analyses, l'effluent du lit à percolation se montre le mieux débarrassé des matières organiques.

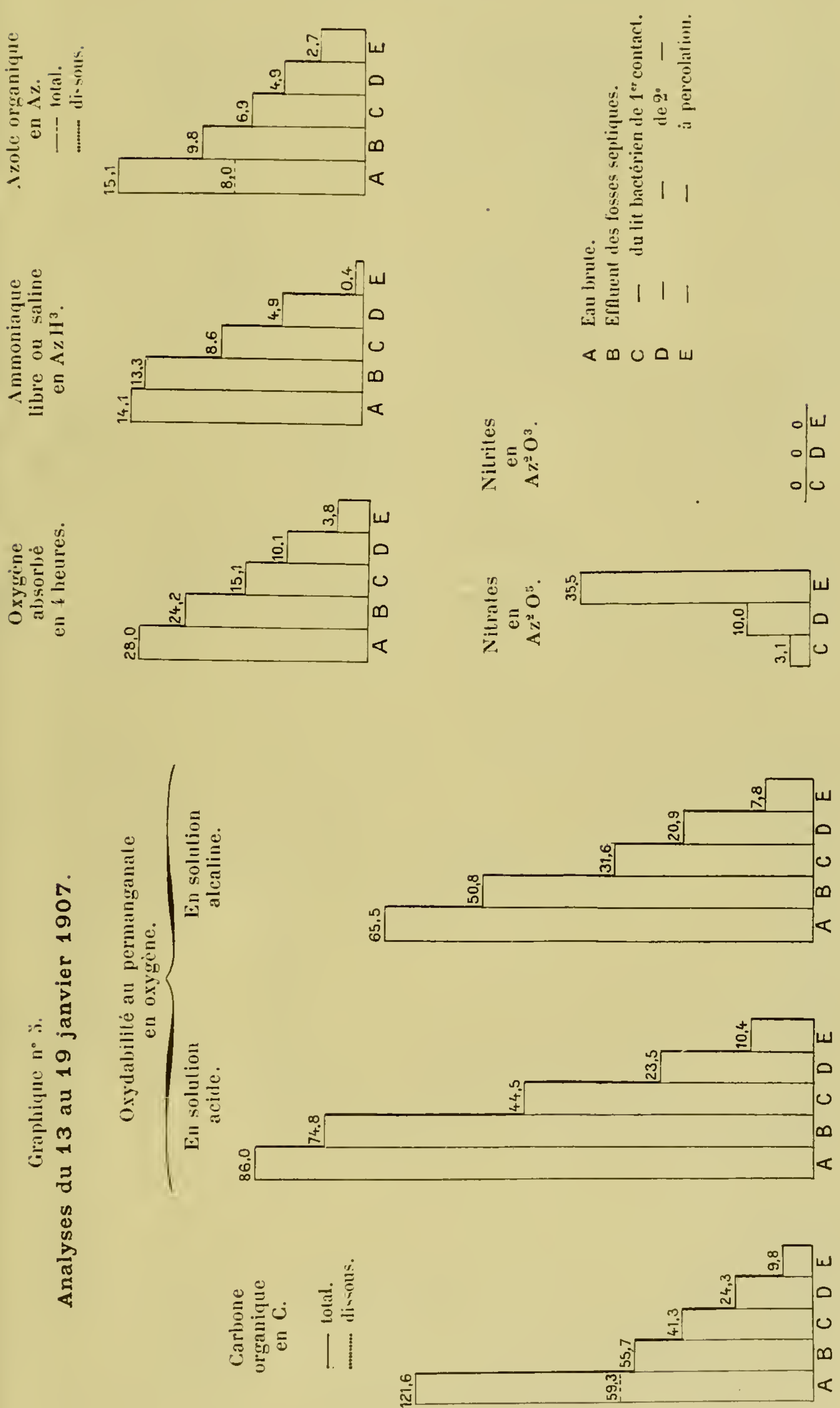
Pour la moyenne des 4 périodes, la diminution de l'oxydabilité a été par rapport à :

	EAU BRUTE		EFFLUENT DES FOSSES SEPTIQUES	
	Solution acide.	Solution alcaline.	Solution acide.	Solution alcaline.
Effluent du lit de 1er contact . .	52 %	58	45	44
— — 2e — . .	71 %	75	65	64
— — à percolation. .	88 %	88	86	84

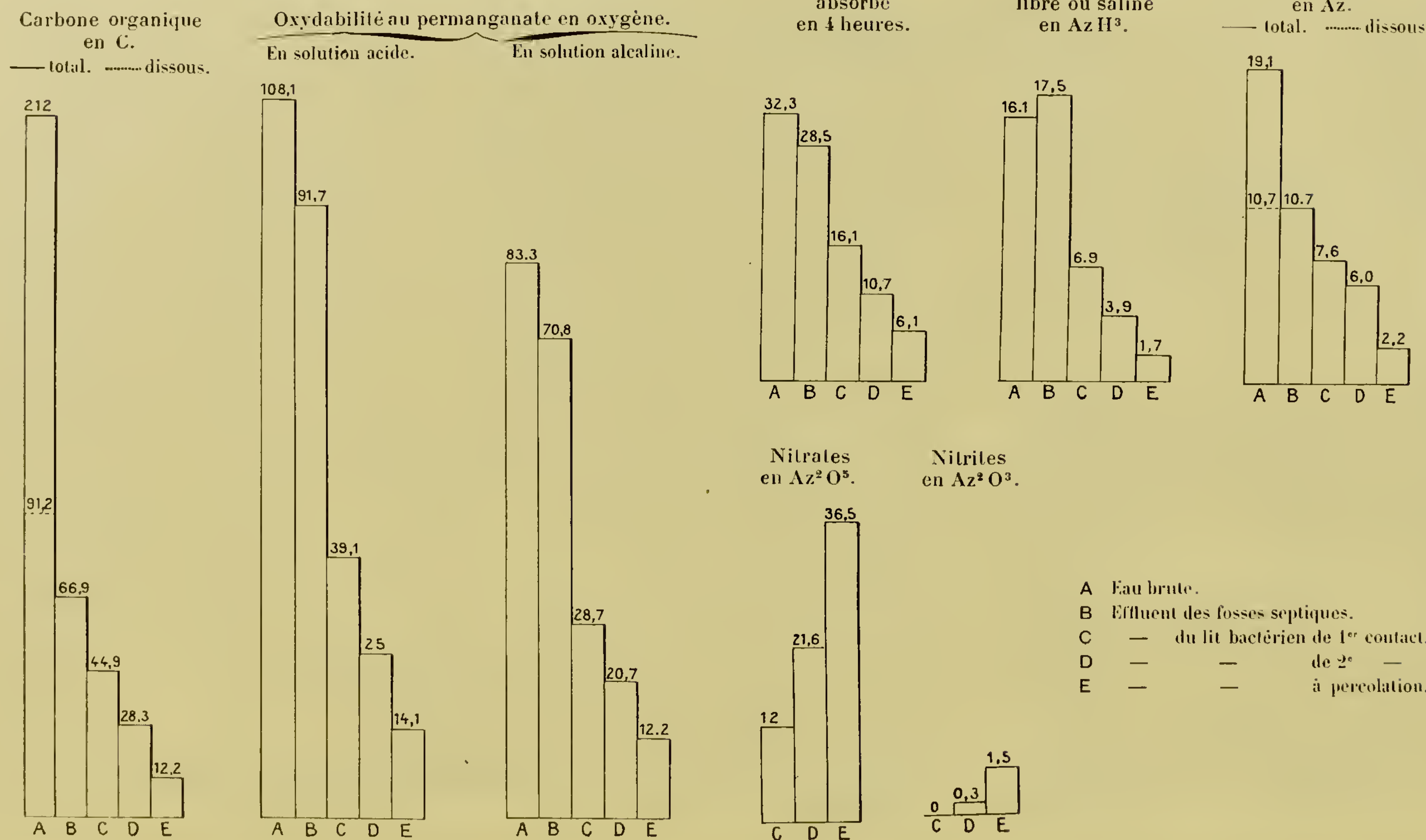
Comparativement à l'an dernier, les résultats ont donc été meilleurs pour l'effluent du lit à percolation.

*
* *

Nous résumons ci-après, dans les graphiques nos 5, 6, 7, 8, les résultats moyens de toutes nos analyses pendant les périodes des 13 au 19 janvier, 17-23 mars, 5-11 mai, 16-22 juin 1907.

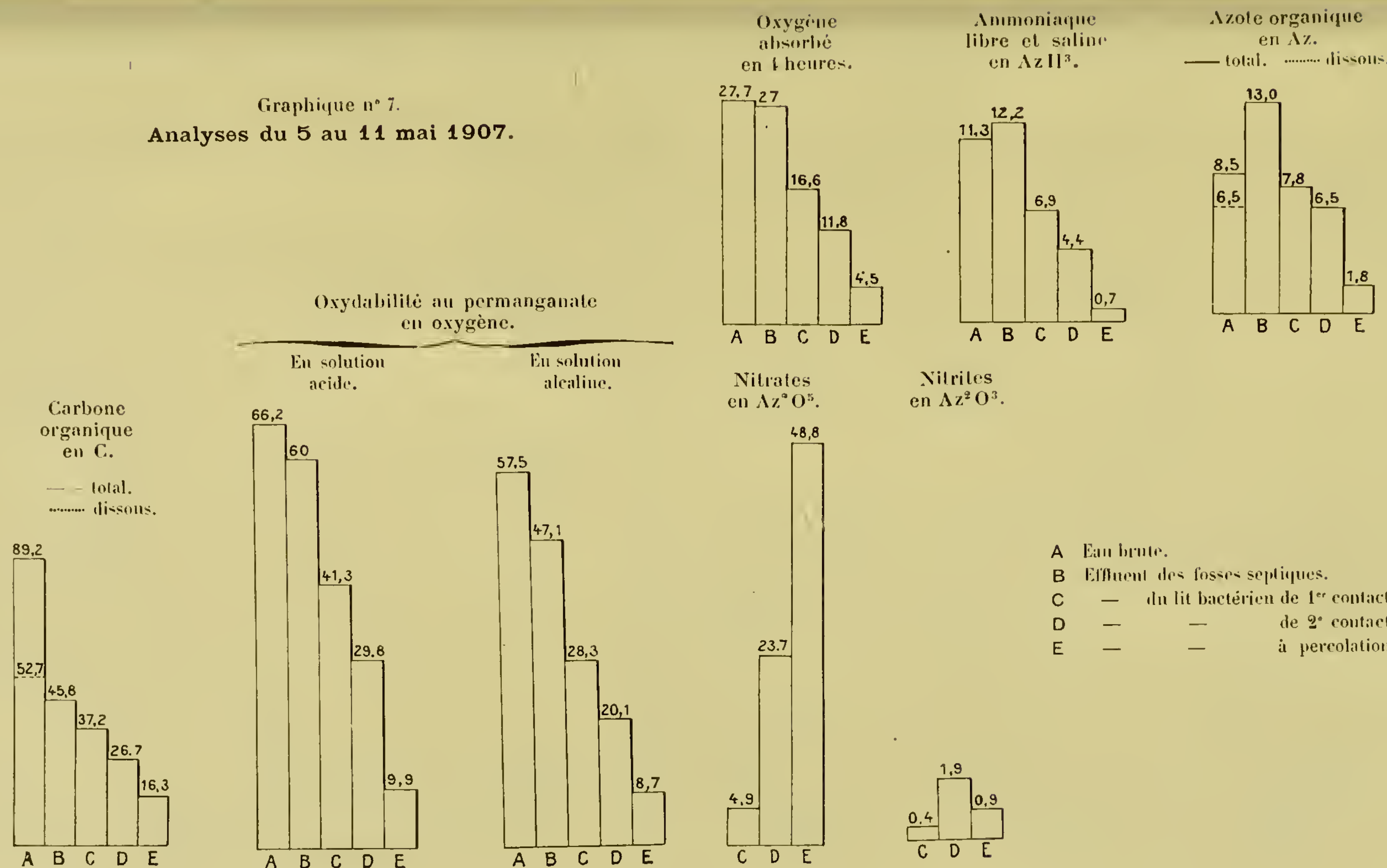

Graphique n° 3.
Analyses du 13 au 19 janvier 1907.
Carbone organique en C.
—— total.
.... dissous.
Oxydabilité au permanganate en oxygène.
En solution acide.
En solution alcaline.
Oxygène absorbé en 4 heures.
Ammoniaque libre ou saline en Az H³.
Azote organique en Az.
—— total.
.... dissous.
Nitrates en Az² O⁵.
Nitrites en Az² O³.
A Eau brute.
B Effluent des fosses septiques.
C — du lit bactérien de 1er contact.
D — — de 2e —
E — à percolation.
121,6
59,3
55,7
41,3
24,3
9,8
86,0
74,8
44,5
23,5
10,4
65,5
50,8
31,6
20,9
7,8
28,0
24,2
15,1
10,1
3,8
14,1
13,3
8,6
4,9
0,4
15,1
8,0
9,8
6,9
4,9
2,7
3,1
10,0
35,5
0
0
0
A B C D E
C D E

Graphique n° 6. — **Analyses du 17 au 23 mars 1907.**



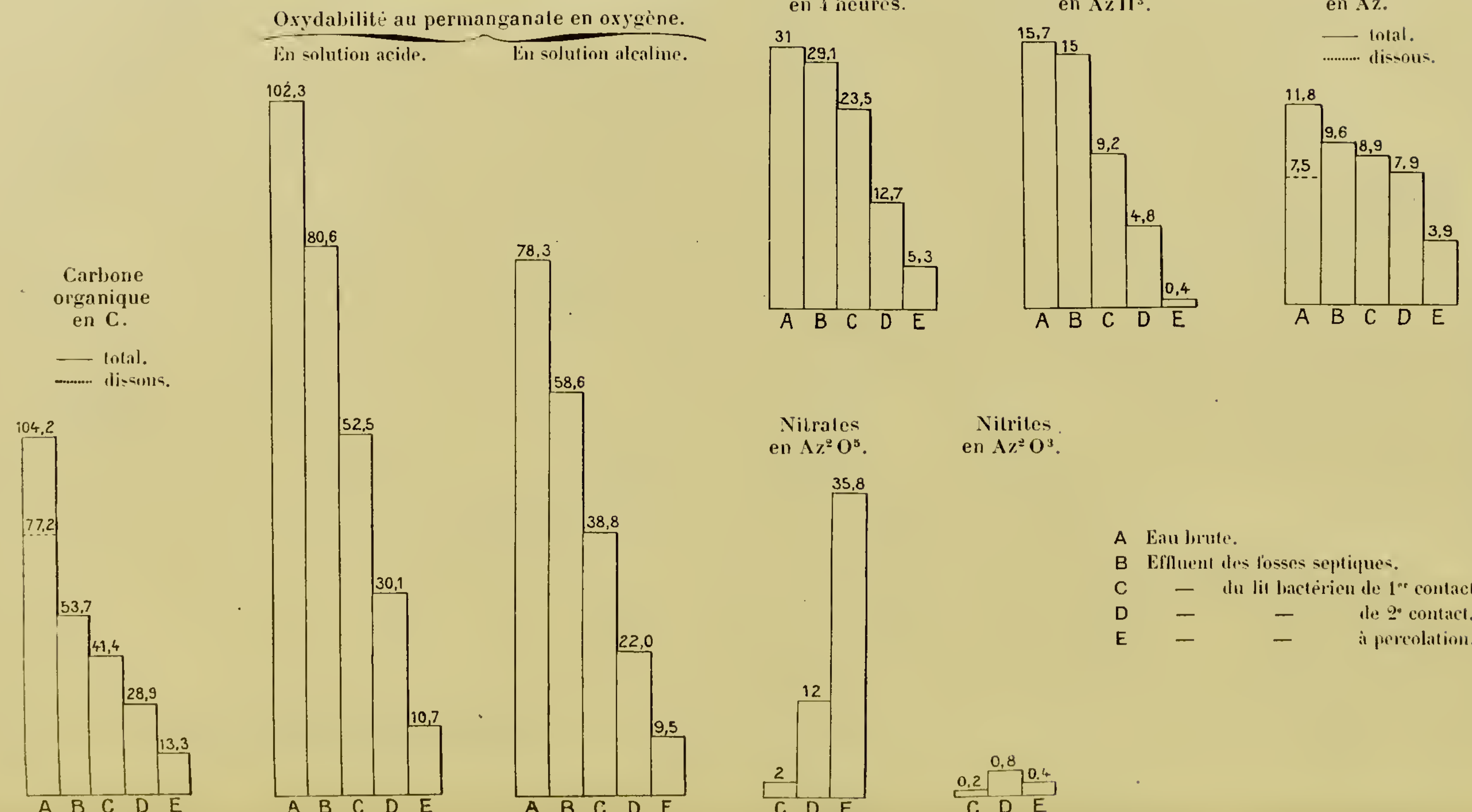
Graphique n° 7.

Analyses du 5 au 11 mai 1907.

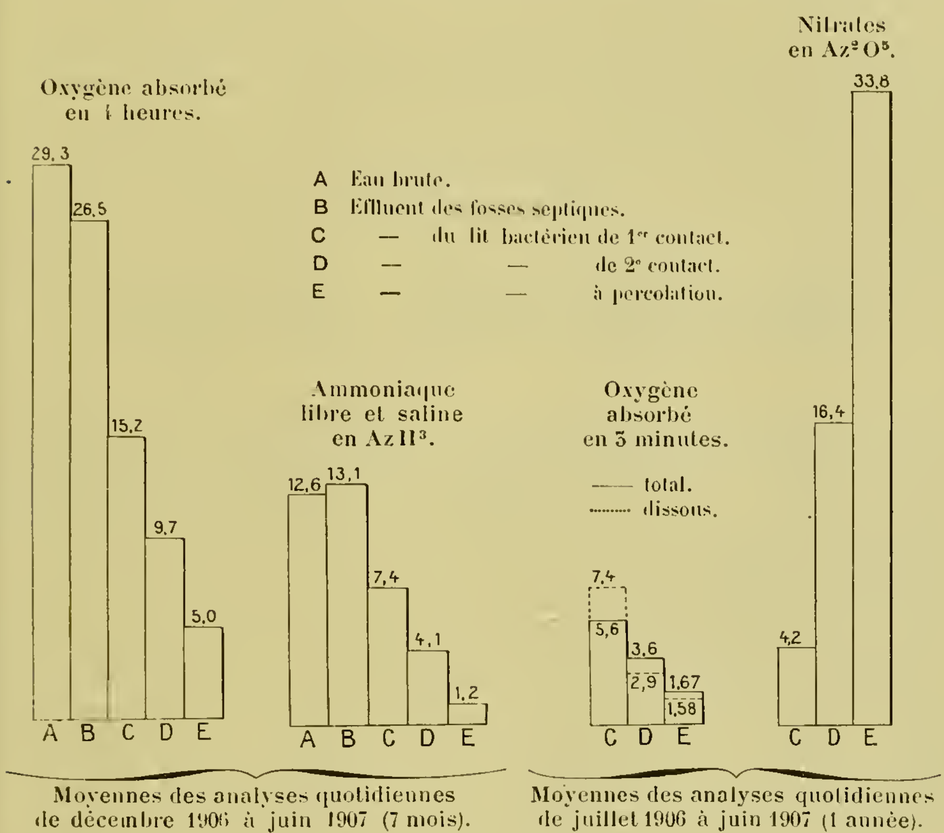


Graphique n° 8.

Analyses du 16 au 22 juin 1907.



Le graphique n° 9 indique les moyennes quotidiennes pour



Graphique n° 9.

l'ensemble des analyses effectuées de juillet 1906 à juin 1907, soit pendant une année.

CHAPITRE III

BOUES DES FOSSES SEPTIQUES. — LEUR ÉLIMINATION

Nous avions reconnu l'an dernier que les fosses à sable de notre installation expérimentale de la Madeleine étaient manifestement de capacité insuffisante et nous avions estimé que cette capacité devait être égale à environ 1/20e de celle des fosses septiques.

Nous avons opéré cette transformation en novembre 1906. En même temps que nous agrandissions ces fosses, nous avons installé un régulateur de débit système *Parenty*, de façon à éviter les afflux considérables d'eau qui étaient survenus l'an dernier en janvier et surtout en février.

L'avantage de la régulation a été reconnu excellent; mais la situation de l'appareil à l'arrivée des eaux n'est pas à recommander. Cet appareil doit être placé entre la fosse à sable et la fosse septique car l'effet du régulateur est de maintenir les eaux de façon à n'en laisser passer qu'une quantité déterminée. Par suite de cette retenue, de peu de durée d'ailleurs, il se produit une première décantation en amont de l'appareil, de sorte qu'une partie des matières solides qui devraient s'accumuler dans nos fosses à sable se dépose déjà dans le petit bassin où se trouve notre régulateur de débit.

Il en résulte que nous avons trouvé cette année une proportion de matières en suspension moindre que l'an dernier dans l'eau brute.

Par contre, l'eau sortant de nos fosses septiques a toujours été remarquablement débarrassée de ces matières en suspension. La décantation a donc été aussi parfaite que possible, et l'on sait que c'est là une condition indispensable pour obtenir

le bon fonctionnement des appareils distributeurs et des lits bactériens aérobies.

On peut attribuer ces bons résultats à deux causes : d'abord au débit plus faible des eaux admises dans les fosses (400 mètres cubes en moyenne, avec 500 mètres cubes comme maximum) et aussi à la régularité de ce débit. Cette régularité a supprimé les afflux considérables d'eau qui se produisaient à certains moments l'an dernier; c'est ainsi par exemple que nos fosses livraient parfois passage, pendant quelques heures, à des masses d'eau correspondant à un débit de 1000 mètres cubes par jour.

Avec ces grands débits, non seulement la décantation était insuffisante, mais il pouvait se produire des entraînements de matières déposées au fond des fosses.

En nous basant sur ces constatations, il nous paraît recommandable de modifier, pour les petites installations tout au moins, les dispositifs que nous avions proposés antérieurement.

Les eaux arrivant de l'égout devraient traverser d'abord, comme nous l'avons dit, une fosse à sable d'assez grande capacité (1/20e au plus du débit moyen en 24 heures). Cette fosse à sable, précédée de grilles, serait construite de telle façon que son niveau puisse varier, et que, munie d'un régulateur de débit, elle puisse, au moins pendant un certain temps, emmagasiner une certaine quantité d'eau. On obtiendrait ainsi une bonne séparation préalable des matières lourdes et imputrescibles, une alimentation plus régulière de la fosse septique et, par suite, un effluent de cette fosse toujours plus exempt de matières en suspension.

*
* *

Nous avons jugé utile d'effectuer, en novembre 1906, un nouveau dragage qui était surtout indispensable dans la fosse fermée, celle-ci ayant été insuffisamment draguée l'année précédente.

Nous ne saurions trop recommander, à ce sujet, d'établir les fosses septiques, lorsqu'on les exige fermées, de telle façon que la couverture puisse se démonter facilement pour per-

mettre les dragages lorsqu'ils deviennent nécessaires, ce qui est toujours le cas à intervalles plus ou moins éloignés.

Nous rappelons que de juillet 1905 à juin 1906 nous avions extrait des :

	Boues humides.	Matières sèches.
Fosses à sable	6 758 kilogr.	1 880 kilogr.
Fosses septiques	70 434 —	14 640 —

De juillet 1905 à juin 1906 nous avons retiré à nouveau des :

Fosses à sable	852 kilogr.	209 kilogr.
Fosses septiques.	112 360 —	24 849 —
Soit au total pour 3 ans. .	190 404 kilogr.	41 578 kilogr.
Ou par an	63 468 —	13 859 —
Et par mois.	5 288 —	1 155 —

Pendant ces 3 années notre installation a reçu une moyenne de 500 mètres cubes d'eau par jour, soit 540 000 mètres cubes. Ces eaux ont donc déposé environ $0^k,352$ par mètre cube.

De notre expérience de 3 années, nous devons conclure que, dans le cas des eaux d'égout de la Madeleine, le dragage des fosses septiques devra être effectué chaque année. La ville de la Madeleine étant une agglomération en partie urbaine et en partie rurale, ses égouts du système *unitaire* reçoivent toutes les eaux qui ont lavé les chaussées; or, celles-ci sont toujours souillées, surtout pendant l'hiver, d'argile, de terre et de sable amenés par les charrois incessants dus à l'activité industrielle de la localité et à sa proximité de Lille. Nous pensons que nous sommes ici dans les plus mauvaises conditions pour une installation d'épuration d'eaux d'égouts, par suite de la présence de quantités importantes de matières en suspension d'origine minérale.

Si nous prenons les chiffres donnés ci-dessus pour base en prévoyant deux dragages par an, une ville émettant 10 000 mètres cubes d'eau d'égout par jour devra évacuer annuellement 1270 tonnes de boues, soit 635 tonnes tous les 6 mois. Ces boues, déversées et égouttées dans un bassin de 1 mètre de profondeur, exigeront pour l'établissement de ce bassin une surface (y compris les murs et talus) de 750 mètres carrés. On voit que nous sommes très loin des surfaces

considérables qui, selon les critiques de M. *Vincey* par exemple, devaient être prévues pour l'évacuation de ces boues.

Dans les questions d'épuration d'eaux d'égout, il faut se garder de généraliser les résultats d'une période d'observation trop brève : une longue expérience seule peut permettre d'apporter des conclusions.

*
* *

Nous avons indiqué l'an dernier la composition moyenne des boues des fosses septiques : les chiffres s'appliquaient aux échantillons prélevés dans la fosse septique ouverte. Pendant le dragage de la fosse septique fermée nous avons aussi prélevé de nombreux échantillons que nous avons soumis à l'analyse. Le tableau ci-après en donne les résultats moyens et nous reproduisons à titre de comparaison ceux que nous avions relevés précédemment.

Composition moyenne des boues des fosses septiques.

	Matières sèches % de boues humides.	Matières volatiles au rouge.	Matières fixes au rouge.	Matières grasses.	Azote.
	Fosse ouverte.				
Moyenne	20.65	34.7	65,5	5.4	1,57
Minimum entrée. .	18	31,2	68,8	5,18	0,85
Maximum sortie. .	21,2	39	61,0	7.27	1.80
	Fosse fermée.				
Moyenne	24,54	28.62	71,58	5,64	1.04
Minimum	18,57	21,5	78,5	5.67	0,86
Maximum	23,28	32.4	67,6	7,55	1,27

Pour l'intelligence des considérations qui vont suivre, rappelons que, pendant les 2 premières années de nos expériences, la fosse fermée avait été insuffisamment draguée. Au contraire, en novembre dernier, le dragage a été effectué aussi complètement que possible.

Le long séjour de ces boues dans la fosse fermée nous permet d'expliquer les différences assez marquées qu'elles présentent avec celles de la fosse ouverte. En effet, les boues plus tassées contiennent aussi moins de matières organiques (matières volatiles au rouge, azote). Il n'y a guère que les matières grasses qui, difficilement fermentescibles, restent

sensiblement en même proportion. Ces constatations nous apportent de nouvelles preuves de l'activité indéniable de la désintégration des matières organiques en fosse septique.

*
* *

Nous avons indiqué déjà (1er volume de ces recherches, page 28) la composition moyenne des boues flottantes des fosses septiques. Nous avons repris cette étude en prélevant systématiquement les échantillons de plus en plus loin de l'entrée des eaux dans les fosses. Les chicanes de surface et les planches de bois, que nous avons posées transversalement de distance en distance (tous les 3 mètres environ) à la surface de la fosse septique ouverte, pour éviter que les boues flottantes ne soient immergées par les grands vents, divisent cette fosse en 10 sections. Les boues flottantes sont très abondantes dans les premières sections; leur quantité diminue fortement dans la 6e et, après la 8e il n'y a plus qu'une mince pellicule, le plus souvent même localisée dans les angles. Nous n'avons donc pu prélever des échantillons que dans les 7 premiers compartiments.

Le tableau VIII donne les résultats de nos analyses. On constate, à part certaines irrégularités faibles, que les proportions des diverses substances dosées varient suivant le chemin qu'elles ont parcouru.

TABLEAU VIII. — **Composition des boues de surface prélevées en Avril 1907 dans la fosse septique ouverte.**

COMPARTIMENTS.	MATIÈRES VOLATILES AU ROUGE.	MATIÈRES FIXES AU ROUGE.	MATIÈRES GRASSES.	AZOTE.	FER.	CARBONE DES BOUES EN C 0/0	CARBONE DES MATIÈRES VOLATILES EN C 0/0
1er compartiment .	52,35	47,65	27,58	1,94	6,8	29,2	55,7
2e —	51,23	48,77	20,76	1,97	10,5	32,8	64,0
3e —	50,59	49,41	21,07	2,13	10,5	29,3	57,7
4e —	48,96	51,04	19,06	2,15	9,1	28,4	58,9
5e —	48,15	51,85	17,67	2,20	11,1	28,4	58,9
6e —	48,45	51,55	17,85	2,25	11,75	30,7	63,5
7e —	48,40	51,60	16,12	2,35	13,5	29,0	59,7

Les matières organiques totales (comptées par la perte au rouge) diminuent assez rapidement d'abord, puis insensiblement pour les dernières sections. Il est évident, *a priori*, que, plus les boues sont riches en matières grasses, plus elles sont légères, de sorte que leur teneur en graisses va sans cesse en diminuant de l'entrée vers la sortie.

L'azote, au contraire, augmente régulièrement, probablement par suite d'un commencement de dissolution des matières azotées complexes qui, d'abord précipitées avec les boues lourdes, sont, étant devenues plus légères, ramenées à la surface par les gaz de fermentation.

La proportion de carbone est constamment énorme : il est vrai que, par la méthode de *Desgrez*, nous dosons non seulement le *carbone organique*, mais aussi le *carbone minéral* qui, sous forme de suie, est toujours très abondant dans les eaux d'égout de nos villes industrielles du Nord. Nous avons indiqué, en regard du taux de carbone trouvé, la proportion de carbone pour 100 de matières organiques (perte au rouge) et ne voyons plus ici une progression régulière dans un sens ou dans l'autre comme pour nos autres résultats. On peut expliquer ce fait en remarquant que les résultats maxima correspondent aux sections 2 et 6 : ces sections sont celles qui se trouvent immédiatement après une chicane de surface. Peut-être est-ce parce que des particules de suie, toujours accompagnées de matières huileuses et goudronneuses très légères, ayant passé sous ces chicanes, finissent par émerger, que la proportion de carbone augmente dans les boues flottantes.

Du dosage de la quantité de *fer* il n'y a rien de bien important à déduire si ce n'est que les boues flottantes en sont très riches. Le fer dissous dans les eaux passe facilement à l'état de très fin précipité de sulfure et celui-ci est ramené vers la surface par les bulles de gaz provenant des fermentations qui s'opèrent surtout activement dans les couches profondes.

CHAPITRE IV

EXPÉRIENCES SUR LA FIXATION DES MATIÈRES ORGANIQUES PAR DIFFÉRENTS SUPPORTS

1[re] *expérience.* — Un lot A de scories a été stérilisé dans des ballons par flambage à 180° pendant une heure; un lot B des mêmes scories a été introduit dans des ballons sans stérilisation; un lot C a été d'abord calciné au rouge, puis introduit dans des ballons et flambé à 180°.

On a préparé, d'autre part, des solutions à 1 pour 100 de peptone, d'albumine, d'asparagine, de sulfate d'ammoniaque, de glucose et d'amidon soluble. Ces solutions ont été stérilisées par filtration sur bougie Chamberland, et introduites dans un état de limpidité parfaite dans les ballons à raison de 100 centimètres cubes par 100 grammes de scories. Après deux heures de contact, on a procédé à l'analyse de la solution qui baignait les scories. Dans le cas de fixation, l'abaissement du titre de la solution en mesurait l'importance.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

I. — *Matières azotées.*

Matière introduite.	Scories.	Azote initial en grammes pour 1000.	Azote après 2 h. de contact en grammes pour 1000.	Proportion 0/0 d'azote fixé.
Albumine . . .	A. . .	0,164	0,157	4,26
	B. . .	0,164	0,158	3,65
	C. . .	0,164	0,135	17,68
Peptone. . . .	A. . .	1,434	1,298	9,47
	B. . .	1,434	1,296	9,62
	C. . .	1,434	1,242	13,38
Asparagine . .	A. . .	1,812	1,765	2,59
	B. . .	1,812	1,765	2,59
	C. . .	1,812	1,771	2,26
Sulfate d'ammoniaque.	A. . .	2,194	2,137	2,59
	B. . .	2,194	2,108	3,91
	C. . .	2,194	2,148	2,09

II. — *Matières hydrocarbonées.*

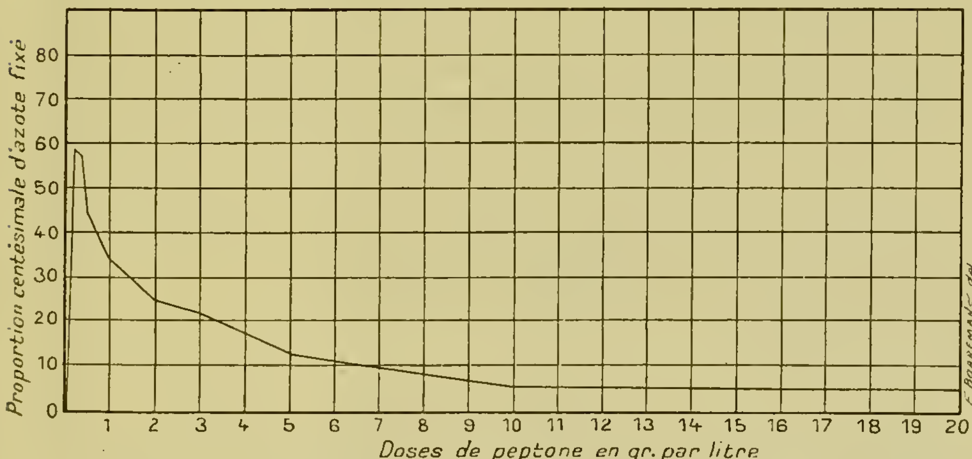
		Glucose init. en grammes 0/0.	Glucose après 2 heures.	Proportion 0/0 fixée.
Glucose.	A. . .	1,000	0,990	1,0
	B. . .	1,000	0,986	1,4
	C. . .	1,000	0,990	1,0
		Amidon initial en grammes 0/0.	Amidon après 2 heures.	Proportion 0/0 fixée.
Amidon soluble.	A. . .	0,887	0,882	0,55
	B. . .	0,887	0,877	1,10
	C. . .	0,887	0,850	4,20

Ces chiffres montrent qu'en général la fixation est plus élevée avec les scories calcinées fraîchement qu'avec les scories qui n'ont subi aucun traitement. La fixation se manifeste pour toutes les matières azotées ; elle est surtout accentuée avec les matières azotées complexes, telles que l'albumine et la peptone ; elle est moins forte avec les matières azotées déjà dégradées, telles que l'asparagine et l'ammoniaque.

Pour les matières hydrocarbonées, la fixation semble très faible; elle est insignifiante pour le glucose, et même pour l'amidon soluble, sauf dans ce dernier cas avec les scories calcinées. Le pouvoir fixateur des scories s'exerce donc surtout vis-à-vis des matières azotées.

2e *expérience. — Influence de la dose de matière azotée sur la fixation.*

On a préparé 10 matras flambés contenant chacun



Graphique n° 10. — Variations de la proportion centésimale de peptone fixée par les scories suivant la concentration du liquide en peptone.

200 grammes de scories fraîchement calcinées, et on a mis ces scories en contact avec des solutions de peptone de concentration variable de 0,1 pour 1000 à 20 pour 1000, stérilisées à la bougie.

Après deux heures de contact, on a procédé à l'analyse et on a obtenu les résultats suivants :

Doses de peptone p. 1000.	Azote introduit en mg. par litre.	Azote retrouvé en mg par litre.	Azote fixé en mg. par litre.	Proportion 0/0 d'azote initial fixé.
0,1	7,59	3,90	3,69	48.6
0,2	16,27	6.69	9.58	58.8
0,3	21,19	8,92	12,27	57,9
0.5	47.40	27,05	20,35	42,9
1.0	86.45	55,49	30.96	35,8
2,0	249,59	188.24	61,35	24,5
3,0	319,44	249,99	69,45	21.7
5,0	666,66	586,11	80,55	12,0
10.0	1252,77	1183,33	69.44	5.5
20,0	2672,22	2511,11	161,11	6,0

Le graphique (*n*° 10) représente les variations dans la proportion centésimale d'azote fixé, suivant les concentrations en peptone. On voit que la proportion fixée s'élève très rapidement pour atteindre son maximum, voisin de 60 pour 100, à la dose de 0gr,2 de peptone par litre. Jusqu'à la dose de 10 grammes par litre, la fixation décroît ensuite rapidement, et elle devient sensiblement constante au-dessus de 10 grammes par litre. On voit en outre que la quantité d'azote fixée est d'autant plus grande que la concentration en peptone est plus forte, mais la proportion centésimale d'azote fixé est d'autant plus faible que la solution est plus riche en peptone.

Remarquons enfin que les doses pour lesquelles la proportion d'azote fixé est maxima sont précisément celles qui correspondent à la teneur ordinaire des eaux d'égout en azote organique. Les procédés biologiques sont donc appliqués sous ce rapport dans les conditions les meilleures.

3e expérience. — Influence du temps sur la proportion centésimale d'azote fixé.

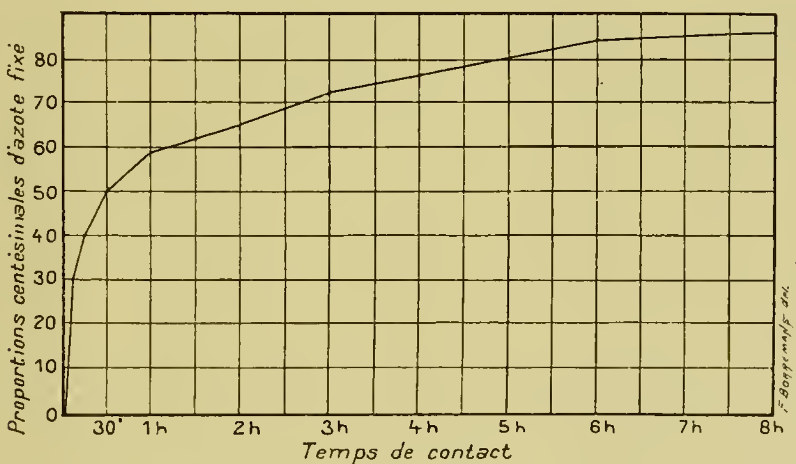
On a rempli 13 matras flambés avec 200 grammes de scories calcinées fraîches : on y a ajouté 200 centimètres cubes d'une solution de peptone à 0gr,2 par litre, stérilisée par filtration à la bougie Chamberland. Un des matras a été sacrifié après

5 minutes et le liquide a été soumis à l'analyse, le deuxième après 10 minutes, le troisième après 15 minutes, le quatrième après une demi-heure, et ainsi de suite, le dernier ballon restant en contact avec la peptone pendant huit heures.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant.

Durée.	Azote initial en mg. par litre.	Azote restant en mg. par litre.	Azote fixé en mgr par litre.	Proportion centésimale d'azote fixé.
5 minutes.	14,96	10,42	4,54	30,3
10 —	»	9.62	5,34	35.6
15 —	»	9,08	5,88	39,3
30 —	»	7,48	7,48	50,0
45 —	»	6,68	8,28	55,3
1 heure.	»	6,15	8,81	58,8
1 — 1/2. . . .	»	5,88	9,08	60.7
2 heures	»	5.34	9,62	64,3
2 — 1/2. . . .	»	4.81	10.15	67,8
3 heures.	»	4.27	10,69	71,3
4 —	»	3,47	11,49	76,8
6 —	»	2,40	12,56	83,9
8 —	»	2.14	12.82	85,6

Le graphique (n° 11) représente les variations de la proportion centésimale d'azote fixé suivant la durée de contact.



Graphique n° 11. — Variation de la proportion centésimale d'azote fixé suivant la durée de contact.

On voit que la fixation dans les débuts est pour ainsi dire instantanée; en 5 minutes, un tiers environ de la matière organique est fixée sur les scories. La proportion fixée croît

ensuite assez rapidement, mais beaucoup moins vite qu'au début, pendant la première heure, où elle atteint près de 60 pour 100 de l'azote introduit. A partir de ce moment la proportion fixée s'élève lentement et elle n'atteint 85 pour 100 qu'après huit heures. Il suffit donc, dans la pratique, d'un temps très court pour que la fixation des matières organiques s'opère sur les scories.

CHAPITRE V

FONCTIONNEMENT DES LITS BACTÉRIENS A DOUBLE CONTACT

Il est intéressant de rechercher si les substances organiques solubles des eaux d'égout sont directement attaquées, décomposées et minéralisées pendant la période de plein des lits bactériens.

Dunbar a fait sous ce rapport une série d'expériences très démonstratives. Six lits bactériens composés de scories identiques ont été remplis chaque jour avec la même eau d'égout. La vidange a eu lieu pour le premier lit après une demi-heure de plein, pour le second lit après une heure, pour le troisième après deux heures et ainsi de suite. Les résultats ont été les suivants :

	Durée du contact heures.	OXYDABILITÉ en mg. de permanganate p. litre. 1 jour.	2 jours.	4 jours.	6 jours.	Diminution de l'oxydabilité 0/0 au 6e jour.
	—	—	—	—	—	—
Eau brute..		363	492	372	457	
Effluent du lit nº 1.	1/2	234	164	175	143	68,71
— — 2.	1	141	147	163	126	72,43
— — 3.	2	129	125	105	91	80,09
— — 4.	4	115	111	99	80	82,49
— — 5.	6	»	117	95	74	83,81
— — 6.	12	111	70	70	63	86,21

Ces chiffres montrent nettement qu'à partir du sixième jour, quand le lit est bien peuplé, il se produit au début du remplissage, pendant la première demi-heure de plein, une diminution immédiate et très considérable de l'oxydabilité. Pendant les heures suivantes, l'oxydabilité diminue beaucoup plus lentement.

Des expériences complémentaires ont montré que cette forte diminution de l'oxydabilité s'effectue dans les 3 premières

minutes du remplissage. La séparation des substances organiques solubles ne se fait donc pas peu à peu et régulièrement, comme cela se produirait s'il s'agissait d'une décomposition bactérienne pendant la période de plein ; elle se fait pour ainsi dire subitement.

Une autre expérience de *Dunbar* indique aussi que l'abaissement de l'oxydabilité pendant la période de plein ne peut être attribué aux bactéries. Un lit bactérien est rempli avec de l'eau d'égout et vidé après une heure de contact, puis arrosé en courant continu par une quantité d'eau capable de le remplir cinq fois, le filtre restant constamment plein pendant cette opération. Les résultats ont été les suivants :

	EAU BRUTE	EFFLUENT					
		Après 1 heure de contact.	PAR PASSAGE A TRAVERS LE LIT				
			1er remplissage.	2e remplissage.	3e remplissage.	4e remplissage.	5e remplissage.
Oxydabilité en mg. de permanganate.	406	178	142	136	276	295	339
Diminution de l'oxydabilité 0/0. . .		56,2	65	66,5	32	27,5	16,5
Odeur.	fécaloïde	faible	faible	faible	faiblemt fécaloïde	fécaloïde	fécaloïde

On voit qu'au début l'eau a été transformée en un effluent imputrescible, mais à partir du troisième remplissage le pouvoir épurant a diminué de plus en plus. Ce phénomène ne peut s'expliquer que par une diminution des facultés d'absorption du support. Ce pouvoir absorbant des scories ne peut être régénéré que par les bactéries qui décomposent et détruisent les matières organiques fixées, et alors seulement le lit peut fonctionner de nouveau.

Le pouvoir absorbant des scories peut être mis aisément en évidence : *Dunbar* a montré qu'en plaçant une solution à 0,1 pour 100 d'albumine en contact avec des scories stérilisées, les scories fixent en quelques minutes 50 pour 100 de l'albumine présente, puis l'absorption se continue lentement. Les expériences de *Boullanger* faites à l'Institut Pasteur de Lille et rapportées ci-dessus, sont aussi tout à fait démonstratives

sous ce rapport, ainsi que celles de *Dzierzgowski* que nous avons déjà citées. Ces phénomènes de fixation se produisent donc dans les lits bactériens dès le début du remplissage, en l'absence de tout phénomène biologique, et c'est à eux qu'on doit rattacher en grande partie la diminution de l'oxydabilité pendant la période de plein.

Les phénomènes biologiques jouent cependant un certain rôle dans cette période, car on constate, pendant le plein, une formation sensible d'acide carbonique. *Dunbar* a ainsi constaté qu'une eau d'égout contenant 5^{mgr},8 d'acide carbonique libre par litre, en renferme 68^{mgr},9 après un contact de 5 minutes, 154^{mgr},9 après un contact de 6 heures et 156^{mgr},2 après un contact de 12 heures. L'acide carbonique combiné augmente aussi, mais faiblement. L'augmentation subite du gaz carbonique dans les 5 premières minutes provient évidemment de l'acide déjà formé dans le lit, et l'augmentation observée ensuite provient de la destruction des matières organiques par les microbes. Mais comme, pendant cette expérience due à *Dunbar*, l'oxydabilité du liquide est restée à peu près constante après une heure de contact, il en résulte que l'acide carbonique dégagé doit provenir des matières organiques déjà fixées par les scories.

Pour étudier ce qui se passe pendant les périodes d'aération, *Dunbar* a mis en marche un lit bactérien, et après 4 heures de plein, il a évacué le liquide, puis fermé hermétiquement les ouvertures du lit, après l'avoir rempli d'air privé d'acide carbonique. Après 6 heures, l'analyse des gaz a montré qu'il n'y avait plus du tout d'oxygène et que la proportion d'acide carbonique libre s'élevait de 6, 4 à 9, 1 pour 100. Dunbar a constaté, en outre, en comparant sous ce rapport un lit bactérien en gravier et un lit en coke, que le coke absorbe et retient énergiquement l'acide carbonique, tandis que le gravier le laisse facilement échapper.

Dunbar a constaté expérimentalement que les scories calcinées n'ont qu'un pouvoir fixateur très faible vis-à-vis de l'oxygène, l'air qui passe sur ces scories contenant encore, à son départ, 18,2 à 19 pour 100 d'oxygène. Au contraire, les scories enlevées d'un lit bactérien en activité donnent des résultats tout à fait différents. On constate une diminution

considérable de la teneur en oxygène, et une apparition correspondante d'acide carbonique. En traitant ces scories par l'eau distillée avec périodes de plein et d'aération, on constate pendant très longtemps, durant les périodes d'aération, une diminution de la teneur en acide carbonique et les nitrates n'apparaissent dans le liquide que quand l'air qui reste dans le lit après la période d'aération renferme des quantités notables d'oxygène restant.

Les expériences de *Dunbar* ont montré en outre que, pendant la période d'aération, un lit bactérien consomme non seulement l'oxygène de l'air contenu dans ses interstices, mais absorbe en outre avec énergie l'oxygène de l'air environnant. On s'en rend compte aisément en mettant en communication avec un réservoir d'air un lit bactérien pendant la période d'aération. *Dunbar* a ainsi constaté qu'après 22 heures le lit avait absorbé 548 centimètres cubes d'oxygène du réservoir. Aussi s'est-on demandé s'il ne serait pas utile de favoriser artificiellement cette absorption d'oxygène. *Lowcock* et *Warnig* ont fait des essais dans cette voie, mais sans résultats pratiques, à cause des frais que ces dispositifs entraînent.

Après un certain temps de fonctionnement, il se produit à la surface des scories une accumulation de matières organiques suffisante pour entretenir pendant plusieurs semaines les phénomènes d'oxydation. Dans un lit bactérien ainsi abandonné à l'air, ces phénomènes deviennent tellement actifs qu'on peut y constater une élévation de température de 8 à 10° centigrades.

Les considérations qui précèdent indiquent les principes qui doivent guider dans le choix des matériaux pour la construction des lits bactériens. En premier lieu, il faut envisager le pouvoir absorbant des matériaux pour les matières organiques, puis leur résistance aux intempéries.

Le pouvoir absorbant est fonction de la surface : plus les matériaux sont fins, plus la surface est grande, et plus le pouvoir absorbant est élevé. *Dunbar* a ainsi comparé du coke et des grains de sable de différentes grosseurs et il est arrivé aux résultats suivants :

I. — *Essais avec le sable.*

(Remplissage 4 heures, 20 heures d'aération.)

Grosseur des grains.	Oxydabilité mg. de permanganate par litre.	Diminution de l'oxydabilité 0/0.	Oxygène absorbé 0/0 de la quantité d'oxygène présent.	Acide carbonique produit en volumes 0/0 de la quantité d'air.
—	—	—	—	—
Eau brute	498,8	»	»	»
Effluent du sable de 2 à 3 mm.	235,4	52,8	62,5	5,2
— — 3 à 5 —	241,6	51,6	46,4	3,9
— — 5 à 7 —	257,1	48,5	52,4	2,6
— — 7 à 10 —	262,6	47,6	35,7	3,5
— — 10 à 20 —	275,7	44,7	30,0	3,1
(Après 7 jours de fonctionnement. — Remplissage 4 heures, 20 heures d'aération.)				
Eau brute	457,5	»	»	»
Effluent du sable de 2 à 3 mm.	199,0	54,5	94,7	10,5
— — 3 à 5 —	217,2	50,4	80,7	9,0
— — 5 à 7 —	224,8	48,6	65,2	7,2
— — 7 à 10 —	238,5	45,5	64,7	7,5
— — 10 à 20 —	252,7	42,2	65,8	8,6

II. — *Essais avec le coke.*

(Remplissage 4 heures, 20 heures d'aération.)

Grosseur des grains.	Oxydabilité mg. de permanganate par litre.	Diminution de l'oxydabilité 0/0.	Oxygène absorbé 0/0 de la quantité d'oxygène présent.	Acide carbonique produit en volumes 0/0 de la quantité d'air.
Eau brute	498,8	»	»	»
Effluent du coke de 2 à 3 mm.	161,1	67,7	74,4	3,7
— — 3 à 5 —	198,5	60,1	57,0	2,1
— — 5 à 7 —	204,5	59,0	52,2	1,6
— — 7 à 10 —	204,5	59,0	45,9	1,6
— — 10 à 20 —	257,1	48,6	42,0	2,2
(Après 7 jours de fonctionnement. 4 heures de plein, 20 heures d'aération.)				
Eau brute	457,5	»	»	»
Effluent du coke de 2 à 3 mm.	150,4	65,6	100	6,9
— — 3 à 5 —	185,8	57,8	84,1	5,4
— — 5 à 7 —	189,9	56,6	71,0	4,9
— — 7 à 10 —	214,2	51,0	61,8	5,1
— — 10 à 20 —	214,2	51,0	59,9	5,0

On voit par les chiffres qui précèdent que plus les grains sont fins, plus la diminution de l'oxydabilité est grande. L'oxygène absorbé est d'autant plus abondant que les matériaux sont plus petits. On voit en outre que la diminution de l'oxydabilité est beaucoup plus forte avec le coke qu'avec le sable. La quantité d'acide carbonique dégagée par le coke est plus faible que celle qui est dégagée par le sable, car le coke retient énergiquement l'acide carbonique.

On peut se demander à quoi est due cette action favorable

du coke. On a cru que la porosité de cette substance jouait un rôle. Mais *Dunbar*, en comparant des scories et de la pierre ponce très poreuse, au point de vue du pouvoir épurant, a constaté qu'au bout de quelques jours les scories sont nettement supérieures à la pierre ponce. La porosité ne paraît donc pas avoir l'importance qu'on lui attribue. *Dunbar* a reconnu que la composition chimique des matériaux, et notamment la richesse en fer, joue un rôle important dans le pouvoir épurant des supports. En expérimentant avec deux lits bactériens ouverts, composés de graviers de 5 à 10 millimètres, l'un sans fer, l'autre avec une addition de 1 pour 100 de fer, *Dunbar* a obtenu les résultats suivants :

		OXYDABILITÉ, MG. DE PERMANGANATE PAR LITRE		
	Mois.	Eau brute.	Effluent.	Diminution 0/0.
Gravier de 5 à 10 mm..	1	302	134	55,6
	2	318	108	66,0
	3	336	108	67,9
	4	360	125	65,3
Gravier de 5 à 10 mm. + 1 0/0 de fer.	1	302	127	57,9
	2	318	94	70,4
	3	336	87	74,1
	4	369	97	73,1

Il est donc hors de doute qu'une certaine proportion de fer favorise les phénomènes d'absorption et par suite, aussi ceux d'oxydation. Ce fait explique pourquoi la ponce très poreuse, mais très pauvre en fer, donne des résultats moins favorables que les scories et le coke.

*
* *

Influence de la grosseur des grains sur la capacité et sur le pouvoir épurant des lits.

Dunbar donne sous ce rapport les renseignements suivants :

	GROSSEUR EN MM.					
	2-3	3-5	5-7	7-10	10-20	20-30
Gravier :						
Capacité en litres par m. c. .	265	288	329	355	344	»
Diminution de l'oxydabilité %.	61,8	61,8	57,1	56,6	46,5	»
Coke :						
Capacité en litres par m. c. .	406	440	455	429	454	518
Diminution de l'oxydabilité %.	»	69,0	64,6	62,5	51,0	44,2

On voit que le coke a toujours une capacité plus grande que le gravier. En outre la capacité est d'autant plus faible que les grains sont plus fins ; au contraire le degré d'épuration est d'autant plus faible que les grains sont plus gros.

Le tableau suivant montre l'influence de la structure des matériaux sur la capacité et sur le pouvoir épurant :

N° du du remplissage.	Charbon animal 3 à 7mm.	Charbon de bois 3 à 7mm.	P. ponce 3 à 7mm.	Scories 3 à 10mm.	Coke 3 à 7mm.	Gravier 3 à 7mm.	Coke 10 à 30mm.
			Capacité en litres par m. c.				
1	771	691	624	607	421	412	556
2	551	575	527	508	565	559	557
10	461	567	444	459	»	267	518
50	439	467	381	555	551	194	488
			Diminution de l'oxydabilité pour cent.				
1	45,1	56,7	18,0	14,5	»	»	»
2	72,1	58,9	22,4	51,0	85,8	51,4	57,6
10	78,7	62,5	40,5	47,8	87,5	85,4	54,2
50	77,6	69,6	65,0	77,7	87,0	85,8	26,5

Donc la pierre ponce, les scories et le coke présentent, après le 50e remplissage, à peu près la même capacité. Celle-ci est beaucoup plus élevée pour le charbon de bois et le noir animal.

CHAPITRE VI

COLMATAGE DES LITS BACTÉRIENS DE CONTACT

On a cru pendant longtemps que les lits, après avoir subi au début une diminution dans leur faculté épuratrice, restaient ultérieurement sans colmatage et constants dans leur action. On sait aujourd'hui que, du moins pour les lits de contact, la régénération du lit est inévitable après cinq ans de fonctionnement ou davantage, suivant la nature des eaux traitées. Les périodes de repos et les raclages sont insuffisants. Il est nécessaire de vider entièrement le lit et de débarrasser les matériaux, au moyen d'un courant d'eau, de la vase qui les englue. Les matières organiques fixées par les matériaux sont en effet décomposées en grande partie par les microbes, mais il reste toujours, à l'état de matières humiques, une certaine quantité de ces substances.

Quelques expériences de *Dunbar* sont très démonstratives sous ce rapport. Un lit bactérien formé de scories de 3 à 7 millimètres, a été laissé en fonctionnement pendant 26 mois à raison d'un remplissage par jour, comportant quatre heures de plein et 20 heures d'aération. La capacité, qui était de 319 litres par mètre cube après 50 remplissages, est tombée à 260 litres après 500 remplissages, et à 199 litres après 700. En deux ans, la capacité avait donc diminué de 40 pour 100. Une expérience analogue, faite sur un lit rempli deux fois par jour pendant 14 mois, a montré que la capacité avait diminué de près de 64 pour 100. Il en résulte qu'on peut diminuer le colmatage des lits en réduisant les volumes d'eaux traitées par jour ou en purifiant soigneusement l'eau avant de l'envoyer sur les lits. Dans les deux cas, les frais d'installation sont plus élevés. Seules les conditions locales peuvent déterminer s'il est préférable de recourir à une petite installation

peu coûteuse, où on devra fréquemment régénérer les lits, ou de construire une installation coûteuse pour réduire le plus possible le traitement des matériaux colmatés.

Le colmatage se produit toujours, même quand les eaux sont soigneusement débarrassées des matières en suspension, soit par long séjour en bassins de décantation, soit par filtration sur un premier lit. La capacité d'un lit bactérien composé de coke de 3 à 7 millimètres, rempli deux fois par jour avec de l'eau déjà traitée à travers un lit de coke de 10 à 30 millimètres, est tombée après 550 remplissages de 351 litres à 250 litres par mètre cube.

Le colmatage dépend évidemment aussi de la nature des eaux traitées. *Dunbar* a constaté qu'après un fonctionnement de quatre mois, la diminution de capacité d'un lit de coke était de 16,1 pour 100 avec de l'eau ordinaire, de 21,4 pour 100 avec de l'urine diluée, de 18,2 pour 100 avec de l'eau d'égout filtrée, de 22,4 pour 100 avec de l'eau d'égout non filtrée.

Le même savant a comparé 4 lits composés de matériaux différents, mais tous de 3 à 7 millimètres de grosseur, et remplis de la même manière avec la même eau d'égout. Il a obtenu avec les scories $82^{l},2$ de boues par mètre cube, avec la pierre ponce $56^{l},7$, avec le charbon de bois 50 litres, avec le noir animal $54^{l},4$. Par mètre cube d'eau traitée, on a extrait après 725 remplissages $1^{l},33$ de boues pour les scories qui subissaient 1 remplissage par jour, et $1^{l},68$ pour celles qui subissaient 2 remplissages. Les matériaux retiennent beaucoup moins de boue quand ils ont de grosses dimensions (10 à 30 millimètres). Par exemple le coke ne retient que $0^{l},54$ de boues par mètre cube d'eau traitée, après 1600 remplissages, les scories $0^{l},17$ après 1000 remplissages, le gravier 0''28 après 950 remplissages.

Le tableau suivant indique que ces boues sont surtout abondantes à la surface du lit :

Profondeur en cm.	LITRES DE BOUES PAR MC. DE MATÉRIAUX. Avec 1 remplissage.	Avec 2 remplissages.
10-20	278	258
20-30	257	238
30-50	194	182
50-70	164	180
70-90	172	190

Le traitement des scories pour les débarrasser des boues a fait perdre en Angleterre 20 à 25 pour 100 des matériaux. *Dunbar* n'a perdu dans ses essais que 9,4 pour 100. Après le lavage, il y a en général une augmentation dans la proportion des gros matériaux et une diminution des matériaux fins.

La boue enlevée par les lavages a le caractère d'une terre humifère; elle peut être utilisée pour des terrassements, et comme elle contient 1 pour 100 d'azote, on peut l'employer aussi pour l'amélioration du sol.

CHAPITRE VII

COLMATAGE DES LITS BACTÉRIENS A PERCOLATION

Les dangers de colmatage sont ici beaucoup moindres qu'avec les lits de contact, car il n'est pas nécessaire, pour obtenir une bonne épuration, de construire les lits avec des matériaux fins. En outre, tandis que les lits de contact se colmatent dans toute leur étendue et exigent par suite un bouleversement complet des lits pour le nettoyage, les lits à percolation, construits avec des matériaux de grosseur croissante de haut en bas, se colmatent surtout par la surface, et les produits colmatés sont entraînés facilement par le courant d'eau sous la forme de flocons. Il suffit de disposer à la suite des lits à percolation un petit bassin de décantation pour les retenir complètement.

Dunbar a constaté qu'on peut réduire considérablement la quantité de flocons entraînés par l'eau des lits à percolation en plaçant à la surface de ces lits une couche de fins matériaux. Il a préconisé une méthode de construction qui consiste à placer à la surface des lits une couche de fins matériaux, et au-dessous des matériaux de plus en plus gros. Dans ces conditions si l'on verse de l'eau sur la couche supérieure, celle-ci laisse *égoutter* cette eau sur les matériaux qui se trouvent au-dessous. La couche supérieure retient toutes les substances en suspension, et fixe une grande partie des matières solubles ; en outre la répartition de l'eau est parfaitement régulière. Les expériences ont conduit à disposer ainsi à la surface des lits des sillons remplis de fins matériaux à la surface desquels l'eau à épurer est répandue. Cette méthode a l'inconvénient d'occasionner le colmatage rapide des sillons ; en outre, quand l'eau d'égout arrive subitement en grande quantité, elle passe par-dessus les rigoles. Pour éviter cet inconvénient, *Dunbar*

a fait construire à *Gross-Hansdorf*, un lit bactérien en pyramide (figure 1) formé de scories de la grosseur du poing. Ce lit a é é recouvert d'une couche de matériaux fins, couche maintenue par un anneau dont les bords empêchaient tout débordement de l'eau à l'extérieur. Les résultats ont été excellents et la puissance épuratrice a atteint 1^{mc},14 par mètre cube de scories. A *Oderberg*, la répartition des matériaux a été faite ainsi pour un lit de 1^{m},70 de hauteur; à la surface on a disposé une cuvette de 30 centimètres de profondeur, puis une couche de 50 centimètres de scories de 1 à 3 millimètres, une couche

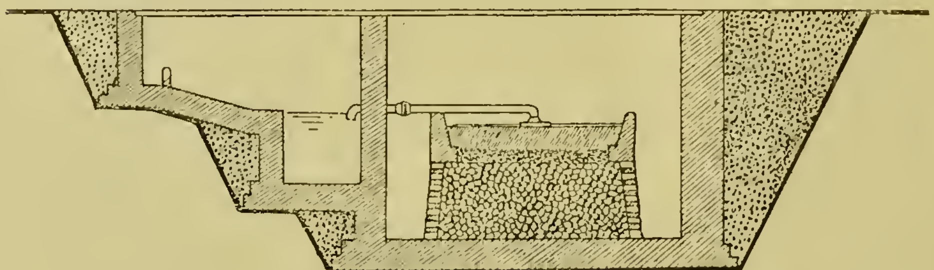


Fig. 1. — Lit bactérien à percolation de *Dunbar*, à *Gross-Hansdorf*.

de 10 centimètres de scories de 3 à 10 millimètres, une autre couche semblable de scories de 10 à 30 millimètres et enfin une couche de 70 centimètres de scories dont la grosseur varie de celle du poing à celle de la tête.

Cette méthode a été également employée à *Unna* (voir notre 2e volume, page 165) et elle y fonctionne depuis 1905 dans des conditions très satisfaisantes.

Les meilleurs résultats au point de vue de la couche filtrante ont été obtenus par *Dunbar* avec le coke et les scories en fragments de grosseur supérieure à 1 millimètre, mais inférieure à 3 millimètres. Il faut éviter de les placer directement sur les gros matériaux, mais les séparer au contraire d'eux par deux couches, de 10 centimètres, l'une de grains de 3 à 10 millimètres, l'autre de grains de 10 à 30 millimètres. Dans ces conditions le colmatage n'atteint jamais la première couche de 3 à 10 millimètres, et pour éviter l'encrassement de la couche superficielle, il suffit de remuer à la pelle de temps à autre les 10 ou 15 centimètres superficiels, et de laisser le lit un ou deux jours en repos.

CHAPITRE VIII

NOUVELLES CONNAISSANCES SUR LE MÉCANISME DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE AÉROBIE ET SUR L'ÉTABLISSEMENT DES LITS BACTÉRIENS DE CONTACT OU PERCOLATEURS.

Rappelons que les procédés d'épuration par *lits de contact* consistent à laisser pendant environ deux heures *en contact* avec un sol artificiel poreux, généralement constitué par des scories, l'eau débarrassée au préalable, par décantation ou par fermentation en fosse septique, de la presque totalité des matières en suspension qu'elle renfermait à l'état brut.

Le sol artificiel ou *lit bactérien* est entièrement noyé dans la masse liquide. Il faut donc que celle-ci ne puisse pas s'échapper au dehors : le lit doit, par suite, reposer sur une sole en béton imperméable et être entouré de murs en maçonnerie étanches.

Au bout de deux heures d'immersion, on ouvre une vanne qui permet d'évacuer le plus rapidement possible tout le contenu du lit sur un second lit semblable — lit de second contact — placé en contre-bas du premier. L'eau y séjourne encore deux heures et, le plus souvent, on peut alors la considérer comme suffisamment épurée. Quelquefois cependant, lorsqu'il s'agit d'eaux très impures, un troisième contact sur un troisième lit, placé encore en contre-bas des deux autres, est indispensable. Mais ces cas doivent être considérés comme exceptionnels.

Entre chaque période d'immersion, les lits de contact restent vides pendant au moins quatre heures, afin de leur permettre de s'égoutter et de s'aérer jusque dans leurs parties les

plus profondes. C'est là une condition essentielle de leur bon fonctionnement.

Lorsque les alternances d'immersion et d'aération sont bien réglées (et elles peuvent l'être, soit au moyen de vannes actionnées à la main par un personnel exercé et attentif, soit au moyen d'appareils automatiques de divers systèmes), ces lits de contact épurent aisément de 350 à 500 litres d'eau d'égout de composition moyenne par mètre carré et par jour, en trois périodes par vingt-quatre heures.

Leur puissance de travail utile est donc, par mètre carré et par jour, environ quarante fois plus considérable que celle des meilleurs champs d'épandage cultivés.

Le processus d'épuration qui s'y accomplit présente une assez grande complexité. Pour le bien comprendre, il faut se rappeler le mécanisme de l'absorption des matières organiques par les sols de différente nature.

Chacun sait que lorsqu'une eau d'égout filtre à travers un sol suffisamment perméable et convenablement drainé, on voit sortir par les drains une eau limpide, dont la pureté est tout à fait comparable à celle des ruisseaux ou des rivières les mieux protégés contre les causes accidentelles de pollution. C'est donc que le sol a absorbé et retenu les impuretés, alors même que celles-ci étaient dissoutes.

Ce phénomène d'absorption a été observé pour la première fois, il y a cent cinquante ans, par un apothicaire nommé *Bronner*, puis en 1819 par un agronome italien, *Gazzeri*. Trente ans plus tard, il a été signalé de nouveau par *Huxtable* et *Thomson*. Ces savants remarquèrent qu'en agitant de l'eau de fumier avec une terre arable, cette terre s'empare de la matière organique ; l'eau de fumier se décolore et devient limpide.

Si donc on filtre sur de la terre une dissolution de purin, par exemple, chacun des éléments du sol fixe les matières dissoutes comme par un phénomène d'adhésion ou de teinture. Chaque élément appauvrit la dissolution au passage et bientôt celle-ci se trouve débarrassée de toutes les substances organiques susceptibles d'être fixées. La distance à laquelle se produit cette épuration varie avec l'épaisseur, le pouvoir absorbant, l'hygroscopicité, la température. Elle varie aussi avec la richesse en matières organiques de l'eau déversée et

suivant la nature de ces matières. Celles qui sont le plus complexes, le plus voisines de l'état végétal ou animal, sont le plus activement fixées. La puissance d'adhésion diminue à mesure que la molécule se simplifie : elle est nulle vis-à-vis de certaines substances cristallisables.

En expérimentant sur des terres stérilisées, pour éviter toute intervention microbienne, on a constaté, à l'Institut Pasteur de Lille, que le glucose, par exemple, échappe totalement aux actions absorbantes du sol.

Il est hors de doute que les phénomènes d'attraction physique ou de teinture jouent un rôle important dans l'absorption des matières organiques. Mais les phénomènes chimiques interviennent aussi pour une grande part : c'est ainsi que la fixation de l'acide phosphorique est due en partie à l'absorption du phosphate monocalcique par les matières humiques. C'est ainsi encore que les oxydes de fer ou de manganèse possèdent un pouvoir absorbant énergique pour beaucoup de substances organiques, et que ces mêmes substances sont surtout évidemment retenues par les sols calcinés, qui sont privés de microbes et ne renferment plus que des éléments minéraux.

Il importe toutefois de remarquer que ces actions de fixation sont *limitées*; si l'apport d'eau impure est *continu* à la surface du sol, elles cessent bientôt de se produire, à *moins que les microbes n'interviennent pour rompre l'équilibre.*

Fort heureusement tous les sols, surtout ceux qui sont les plus riches en humus, sont peuplés d'une infinité de microbes auxquels la matière organique sert d'aliment. En s'en nourrissant, ils la ramènent graduellement à l'état de molécules plus simples, et finalement à l'état de matière minérale : *nitrates*, *azote gazeux*, *acide carbonique et eau*. Mais, pour effectuer ces désintégrations successives, ils ont besoin d'oxygène; ils doivent emprunter cet élément à l'atmosphère et, comme conséquence de cette *aérobiose*, le sol qui leur sert de support doit rester perméable à l'air. S'il leur arrivait d'être noyés trop longtemps dans l'eau d'égout, et d'être par conséquent bientôt privés d'oxygène, ils ne tarderaient pas à périr. Le sol resterait alors saturé de matière organique et son pouvoir d'épuration disparaîtrait du même coup.

Ainsi apparaît la nécessité de l'*intermittence* dans les irrigations d'eau d'égout, aussi bien sur la terre *nue* que sur les champs d'épandage livrés à la culture.

On comprend tout de suite que ces notions s'appliquent intégralement au travail des *lits bactérieus*.

Un savant allemand, *Bretschneider*, a cependant donné une théorie d'après laquelle le fonctionnement de ces lits devrait être considéré comme purement mécanique. D'après lui, les matières ne seraient qu'en état de *pseudo-solution* dans les eaux d'égout, et elles viendraient s'agréger aux scories par simple action de capillarité, de manière à constituer à leur surface une couche filtrante analogue à la *membrane* des filtres à sable. Mais cette théorie a été victorieusement combattue par *Dunbar*. Ce savant a montré en effet qu'un lit bactérien en activité dégage toujours de l'acide carbonique et donne naissance à des nitrates; tandis que — comme l'avaient déjà prouvé *Schlœsing* et *Müntz* pour la terre arable — en présence du chloroforme, ou dans une atmosphère d'hydrogène, l'épuration diminue très rapidement et s'arrête bientôt tout à fait.

Les recherches de *Dunbar* l'ont ainsi amené à établir la théorie suivante de l'épuration dans les lits bactériens de contact : les matières en suspension sont arrêtées par les lits; les matières en solution sont fixées par un pouvoir absorbant analogue à celui du sol. Pendant les périodes d'aération, les microbes décomposent les matières fixées et régénèrent les scories en permettant une nouvelle fixation.

Pour vérifier expérimentalement cette conception, il est nécessaire d'étudier les phénomènes de fixation sur les scories et de démontrer l'intervention microbienne dans ces phénomènes. Les expériences sont rendues difficiles par ce fait que les actions de fixation, qui sont d'ordre physico-chimique, sont influencées par des causes insignifiantes en apparence et s'exercent d'une façon très variable parfois avec les mêmes échantillons. Nous connaissons cependant aujourd'hui, grâce à des expériences faites par l'un de nous à l'Institut Pasteur de Lille, et grâce aux travaux de *Dzierzgowski*, la marche générale de ces phénomènes. Le mode opératoire consiste à ajouter à un poids donné de scories ou de tous autres matériaux, une

quantité déterminée de solution d'une matière organique de constitution chimique connue. On laisse en contact une ou deux heures, puis on prélève une portion du liquide clair pour le soumettre à l'analyse. Si la dissolution s'est appauvrie, c'est qu'il y a eu fixation, et l'abaissement du titre en mesure l'intensité.

On a pu constater ainsi qu'en mettant en contact avec des scories fraîches, stérilisées et exemptes de matières organiques, une solution de peptone à $0^{gr},2$ par litre, la fixation s'opère d'abord très rapidement; au bout de cinq minutes, un tiers de la peptone est fixé; au bout de trente minutes, on n'en trouve plus que la moitié; les deux tiers ont disparu au bout de deux heures trente minutes, les trois quarts au bout de quatre heures, les quatre cinquièmes au bout de huit heures. On voit que la fixation, très rapide au début, se ralentit ensuite beaucoup : elle a atteint, dans l'expérience actuelle, 80 pour 100 de la peptone introduite, au bout de huit heures.

On a pu voir, en outre, que les matières organiques sont fixées d'autant plus énergiquement que leur molécule est plus complexe : l'albumine d'œuf est fixée plus énergiquement que la peptone, la peptone l'est plus que les amides, les amides le sont plus que l'ammoniaque, qui n'est que faiblement retenue. Le glucose et l'empois d'amidon ne sont pas fixés du tout.

Voici, par exemple, quelques résultats expérimentaux :

Proportion centésimale d'azote fixé.

Albumine	17,6 0/0
Peptone	15,4 0/0
Asparagine	2,2 0/0
Ammoniaque	2,0 0/0

La fixation augmente quand la concentration des matières est accrue, mais la proportion centésimale fixée est d'autant plus faible que la concentration est plus forte. Elle atteint, en moyenne, avec les albuminoïdes complexes et les scories fraîches, 60 à 70 pour 100 au bout de deux heures, pour les solutions à la concentration ordinaire des eaux d'égout.

Dunbar a également montré que le violet de méthyle, mis en contact avec des scories, se fixe et disparaît en deux heures, en dehors de toute intervention microbienne.

Dzierzgowsky [1] a fait récemment, de son côté, des expériences très intéressantes. Il a étudié le pouvoir fixateur de la terre d'infusoires, du coke et des scories, sur l'albumine, la peptone, la leucine, le glucose, l'empois d'amidon, l'urée et l'ammoniaque. Il a constaté que toutes ces substances, sauf le glucose, l'urée et l'empois d'amidon, sont plus ou moins fixées par ces corps, et que l'absorption est d'autant plus faible que la molécule est plus dégradée. Cet auteur a montré en outre que les oxydes de fer, de cuivre, de manganèse, possèdent un pouvoir absorbant énergique pour beaucoup de substances organiques et minérales des eaux d'égout. Exemples :

	ABSORPTION 0/0		
	Albumine.	Peptone.	Ammoniaque.
Bioxyde de fer.	50,2	59,4	5,5
Bioxyde de cuivre.	10,6	12,0	6,4
Bioxyde de manganèse. . .	92,1	89,5	7,4

En traitant les matériaux par l'acide sulfurique pour enlever l'oxyde de fer, la fixation devient beaucoup plus faible.

Pour démontrer l'influence des microbes, *Dzierzgowsky* a comparé la fixation sans chloroforme avec la fixation en présence de chloroforme. Il a trouvé que celle-ci était beaucoup plus énergique dans le premier cas que dans le second : par exemple, 36 pour 100 d'albumine fixée sans chloroforme et 11 pour 100 avec chloroforme. Ces 11 pour 100 se rapportent évidemment à une fixation physico-chimique en dehors de toute action microbienne, et la différence entre les deux fixations, 36 — 11 = 25 pour 100, ne peut provenir que du travail des microbes [2].

D'ailleurs, en plaçant dans les lits des solutions de peptone stérile, *Dzierzgowsky* a constaté que l'épuration est beaucoup moins intense qu'en présence de microbes et qu'elle s'arrête rapidement. En outre, en réalisant une expérience avec le sucre, qui n'est pas fixé par les scories, il a vu que l'épuration est nulle en présence de chloroforme, tandis qu'elle atteint 75 pour 100 en l'absence de cet antiseptique.

(1) Dzierzgowski, *Gesundheits Ingenieur*, nos 1 et 2, 1907.

(2) L'influence de la flore microbienne sera montrée au chapitre suivant : le sulfate d'ammoniaque et l'urée, qui, sur les scories stériles, se fixent très peu, ont, au contraire, une grande affinité pour les scories peuplées de microbes.

Tous ces faits démontrent avec évidence l'action des microbes et attestent que la décomposition des matières organiques dans les lits bactériens s'effectue non seulement pendant les périodes d'aération, mais aussi pendant celles d'immersion, au moins pour les substances qui ne sont pas fixées par les scories.

Donc, dans l'épuration bactérienne par les lits de contact, on doit distinguer :

1° Des *actions physiques* : arrêt des matières en suspension, fixation de certaines matières en solution ;

2° Des *actions chimiques* : formation de combinaisons avec les oxydes de fer, de cuivre et de manganèse à la surface des lits et oxydation de certaines substances par voie chimique ;

3° Des *actions biologiques*, constituées par la fixation, l'absorption et la désintégration des matières nutritives par les microbes qui peuplent les corps poreux dont les lits sont constitués.

Lorsqu'on se propose de créer une station d'épuration biologique, il est essentiel d'étudier au préalable comment pourront s'exercer ces diverses actions *physiques*, *chimiques* et *biologiques* avec les matériaux dont on veut faire usage et avec l'eau d'égout qu'il s'agit d'épurer.

La nature et la dimension des matériaux qui servent à constituer les lits bactériens, la profondeur et la surface à donner à ces lits, varient nécessairement suivant les exigences de chaque localité.

En règle générale, on doit admettre que le coke d'usines à gaz représente le matériel de choix, en raison de son extrême porosité et de sa résistance à l'effritement. Malheureusement il est trop coûteux. En seconde ligne on choisira les scories ou mâchefers, puis en troisième ligne les briques concassées. S'il n'est pas possible de se procurer économiquement ces matériaux, on s'adressera aux laves, ou, comme pis aller, aux pierres calcaires. On écartera surtout délibérément les pierres dures, compactes, non poreuses, les cailloux roulés, les silex et les graviers siliceux, mais les ardoises pourront être employées dans certaines conditions précisées par *Dibdin* et sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

La profondeur à donner aux lits de contact est de 1 mètre à

1 m. 20 au maximum et leur surface sera calculée d'après cette profondeur, de telle sorte que la capacité utile pour l'eau représentant un peu plus du tiers de la capacité géométrique, chaque mètre cube de coke ou de scories ait à traiter au minimum 250 litres d'eau d'égout par période de contact. Théoriquement, on devrait donc pouvoir épurer sur chaque lit de contact 750 litres d'eau par vingt-quatre heures, en trois périodes divisées ainsi qu'il suit :

1 heure de remplissage;
2 heures de plein (contact);
1 heure de vidange;
4 heures d'aération;

(soit huit heures par période et trois périodes par vingt-quatre heures).

Mais, en fait, il faut tenir compte de ce qu'en marche industrielle les lits perdent à la longue une partie de leur capacité par suite du tassement des matériaux ou par la rétention d'une masse de liquide d'autant plus considérable que les matériaux sont plus fins.

D'autre part, les amenées d'eau à la station d'épuration ne sont jamais régulières. A certaines heures du jour, et surtout de la nuit, les déversements des égouts sont presque insignifiants. Certains lits sont alors exposés à ne se remplir que très lentement ou qu'incomplètement et, s'ils sont desservis par des appareils automatiques, tels que les siphons d'*Adams* ou autres analogues, dont l'amorçage ne peut s'effectuer qu'au moment où le lit achève de se remplir, il arrive très souvent que les scories ou le coke restent noyés pendant un temps beaucoup trop long. Alors les microbes oxydants et nitrificateurs qui les peuplaient périssent, ou bien ils sont remplacés par une flore microbienne anaérobie *dénitrifiante*. Il en résulte que les résultats d'épuration deviennent très défectueux ou même nuls.

Ce fait d'importance capitale a échappé jusqu'ici à la plupart des ingénieurs ou des architectes qui ont construit des lits bactériens de contact. Presque toutes les petites installations qui ont été faites en France et en Algérie, au cours de ces dernières années, ont été ainsi établies sans tenir compte des lois

biologiques qui devaient présider à leur fonctionnement, et *aucun des appareils de remplissage ou de vidange automatiques actuellement préconisés par leurs inventeurs ne permet d'observer ces lois avec la rigueur indispensable.*

Tous exposent ceux qui les emploient à de cruels déboires. Pour qu'un appareil de ce genre puisse être utilisé, il faudrait qu'il assurât toujours la vidange *totale* du lit après deux heures de contact, alors même que ce lit n'aurait reçu qu'une quantité d'eau d'égout insuffisante pour le remplir. Il faudrait, en outre, que l'eau ne pût être déversée de nouveau sur le même lit qu'après quatre heures d'aération. Le réglage devrait donc s'effectuer d'après les *temps* et non d'après les *volumes*. Jusqu'à présent le problème n'a pas été résolu. C'est pourquoi les seuls lits de contact qui fonctionnent d'une manière satisfaisante sont ceux dont la commande est faite au moyen de vannes manœuvrées à la main.

Outre les dépenses exagérées de main-d'œuvre, rendues de ce chef inévitables, les lits de contact entraînent des frais relativement élevés de premier établissement. Ils nécessitent, je l'ai déjà dit, la construction de bassins étanches et ceux-ci doivent être pourvus d'un système de drainage capable d'évacuer dans le délai maximum d'une heure toute l'eau admise à chaque période de contact.

Sur ce drainage, il faut encore disposer les scories ou le coke en couches successives de dimensions différentes : les matériaux du fond sont les plus volumineux et ceux de la surface les plus fins.

Or, lorsqu'on remplit le lit avec l'eau d'égout, une grande partie de celle-ci (un cinquième environ en volume) se précipite dans les drains et dans la couche sus-jacente de gros matériaux. Les matières organiques dissoutes qu'elle contient échappent ainsi aux actions physiques, chimiques et biologiques qui ne peuvent s'accomplir qu'à la surface ou dans les pores des scories ou du coke. Il en résulte que le coefficient d'épuration final se trouve toujours réduit aux quatre cinquièmes seulement de ce qu'il devrait être si toutes les molécules de matière organique pouvaient être fixées et oxydées.

Tous ces inconvénients ont forcément conduit les ingénieurs sanitaires et leurs collaborateurs les bactériologistes, à cher-

cher une méthode d'épuration biologique d'une application plus sûre et plus simple. Cette méthode existe aujourd'hui et il ne paraît guère possible de la rendre plus parfaite qu'elle ne l'est déjà. Les hygiénistes anglais, qui l'ont employée les premiers, lui ont donné le nom de *percolating system* et nous l'appelons : *procédé d'épuration par lits bactériens percolateurs.*

Ce procédé consiste à recevoir l'eau d'égout — toujours préalablement débarrassée de matières en suspension par fermentation en fosse septique ou par décantation convenable — dans des appareils distributeurs qui la répartissent en pluie ou en nappes minces, et par *intermittences*, à la surface d'un lit bactérien.

Le lit bactérien dont il est fait alors usage n'a plus besoin d'être encastré entre des murs de maçonnerie étanches. On peut lui donner la forme d'un simple tas de scories, de coke ou de pierres concassées, reposant sur une sole imperméable, de béton ou d'argile. Il n'est pas nécessaire non plus de classer les matériaux par ordre de grosseur. Il suffit de les débarrasser de poussières par un bon lavage et de les disposer en talus sur 1m,50 à 2m,50 de hauteur. Leur dimension moyenne ne doit guère dépasser 5 à 25 millimètres. On a tout avantage à les employer assez fins, pourvu que l'air circule facilement dans toute la masse.

Le seul point délicat du système consiste à assurer une distribution aussi égale et régulière que possible de l'eau à la surface du lit, à des intervalles assez rapprochés pour que le rendement soit maximum, et assez éloignés pour que les substances organiques fixées sur les matériaux aient le temps de s'oxyder.

On y parvient actuellement à l'aide de dispositifs variés, les uns très compliqués, très coûteux, et donnant des résultats d'épuration presque parfaits ; les autres plus économiques et plus simples, permettant d'obtenir néanmoins une épuration largement satisfaisante.

Parmi les premiers, dont l'emploi n'est guère recommandable que pour les petites installations, se classent les *tourniquets hydrauliques* ou *sprinklers*, les *distributeurs rotatifs*, les *gouttières à renversement automatique.*

Nous avons déjà vu qu'il existe un grand nombre de

modèles de ces appareils mécaniques, tous plus ingénieux les uns que les autres.

Parmi les seconds, qui sont applicables aux installations urbaines importantes, et à l'épuration des eaux résiduaires d'industrie, où l'on cherche à donner simplement satisfaction aux règlements sur la pollution des rivières avec le minimum de dépenses de main-d'œuvre et d'entretien, il en est deux surtout qu'on peut considérer comme excellents :

L'un est constitué par les simples siphons de chasses automatiques, du type d'*Adams*, de *Geneste-Herscher-Doulton* ou de *Parenty*, que nous avons longuement étudiés ailleurs et qui déversent par *intermittences*, dans une série de caniveaux placés à la surface du lit, une quantité toujours égale de liquide. C'est ce système qui est appliqué à Lille, à la station expérimentale de la Madeleine : l'épuration qu'il fournit est très satisfaisante et il ne nécessite aucune dépense d'entretien ni de main-d'œuvre.

L'autre emploie, pour distribuer l'eau également par *intermittences*, à la surface des lits, les dispositifs de becs pulvérisateurs verticaux placés de distance en distance en quinconces. Ces becs restent à demeure sur des canalisations en fer ou en fonte qui reçoivent le liquide à épurer sous une pression d'environ $1^m,50$ à 2 mètres. Ce mode de répartition est, sans conteste, le plus parfait, mais on peut lui reprocher d'être assez coûteux et d'être gênant pour le voisinage, parce que les mauvaises odeurs que dégage l'eau d'égout pulvérisée se répandent au loin jusqu'à 4 ou 500 mètres, parfois davantage.

Quel que soit celui de ces divers systèmes auquel on donne la préférence, le mécanisme de l'épuration est identique dans tous les cas. Au lieu de rester *en contact* avec les matériaux du lit bactérien, l'eau traverse le lit percolateur en s'égouttant lentement dans toute sa masse, et les périodes d'intermittence doivent être réglées de manière à permettre à l'air d'y pénétrer largement partout. Les phénomènes de fixation et d'oxydation de la matière organique dissoute, au lieu de se succéder, comme dans les lits de contact, s'y accomplissent presque simultanément, et on ne risque jamais de noyer les microbes en les privant trop longtemps d'oxygène, comme cela arrive dans les lits de contact dont l'immersion se pro-

longe accidentellement au delà du délai normal de deux heures.

Indépendamment de ces avantages très appréciables de sécurité et d'économie par suppression presque totale de surveillance et de main-d'œuvre, les *lits percolateurs* permettent d'épurer, par mètre carré de surface et par jour, un volume d'eau au moins double et souvent triple de celui qu'il est possible de traiter sur les lits à *double contact*. On parvient aisément à leur faire débiter, en marche industrielle, de 10 à 15 000 mètres cubes par hectare et par jour, soit un volume de liquide cent fois plus considérable que les meilleurs champs d'épandage agricole.

L'épuration n'y est pas aussi parfaite, surtout au point de vue de la réduction du nombre des germes microbiens, mais le liquide qui s'en écoule ne renferme ni ammoniaque, ni matières organiques putrescibles, ce qui est incontestablement suffisant dans la plupart des cas

On ne serait fondé à exiger davantage et à parachever l'épuration sur un filtre à sable par exemple, ou sur des champs de culture, que s'il s'agissait de déverser les eaux biologiquement épurées dans une rivière ou un fleuve, en amont d'une prise d'eau servant à l'alimentation d'une ville. Or, cette circonstance ne peut se présenter que très exceptionnellement.

Nous ne croyons d'ailleurs pas qu'il soit raisonnable d'imposer aux municipalités ou aux établissements industriels l'obligation de rendre aux rivières ou aux fleuves une eau plus pure que celle qu'on peut leur emprunter. Et si nous avions à rédiger un cahier des charges relatif à la création d'une station d'épuration urbaine, les seules conditions que nous y inscririons, en ce qui concerne l'eau épurée, seraient les suivantes :

1° *Que cette eau soit assez limpide pour permettre de lire à travers une éprouvette à fond de glace à faces parallèles les caractères d'imprimerie dits « gaillarde » sous une épaisseur de* 10 *centimètres;*

2° *Qu'elle soit inodore et imputrescible même après six jours de conservation à l'étuve à 30° en flacon bouché à l'émeri;*

3° *Qu'elle ne présente aucune toxicité pour les poissons:*

4° *Enfin, qu'après son mélange avec l'eau de la rivière ou du fleuve qui la reçoit, la teneur en germes du cours d'eau ne soit pas sensiblement plus élevée à 500 mètres du point de déversement qu'en amont de celui-ci.*

Il nous paraît incontestable que, si les lois que l'on prépare actuellement sur la police sanitaire des cours d'eau posent ainsi nettement le problème à résoudre, les municipalités et les industriels trouveront, dans les procédés récents d'épuration biologique par *lits de contact* ou par *lits percolateurs*, les moyens les plus simples, les plus pratiques et les plus économiques, de donner satisfaction à nos légitimes exigences d'hygiénistes et de citoyens intéressés à la sauvegarde de la santé publique.

CHAPITRE IX

NOUVELLES CONTRIBUTIONS A L'ÉTUDE DE LA NITRIFICATION DANS LES LITS BACTÉRIENS AÉROBIES

Sous ce même titre nous avons exposé, dans le premier volume de ces recherches, le mécanisme de la nitrification ainsi que le travail symbiotique des ferments nitreux et nitriques. Ces travaux nous ont permis de préciser la nature des phénomènes qui s'accomplissent dans les lits bactériens aérobies. Mais il était intéressant de rechercher en outre si, dans ces lits bactériens où il ne peut être question d'employer des cultures de ferments purs (comme il avait été fait dans les expériences de *Boullanger* et *Massol* à l'Institut Pasteur de Lille), la nitrification peut s'effectuer dans un milieu très impur et en présence de composés organiques, tels que ceux que l'on rencontre dans les eaux d'égout et les eaux résiduaires industrielles. Ces expériences, commencées en 1901 par l'un de nous([1]) ont été poursuivies depuis à mesure que de nouvelles questions se posaient pour résoudre certains cas particuliers.

Nous nous sommes servis dans ces expériences de lits bactériens de différentes formes : de tubes en verre de 1 mètre de haut et de $0^m,05$ de diamètre avec une tubulure inférieure, de tuyaux en poterie vernissée de 1 mètre de hauteur et de $0^m,15$ de diamètre, d'un vase cylindrique en tôle émaillée de $0^m,60$ de haut sur $0^m,25$ de diamètre et enfin de vases carrés en terre vernissée dont l'intérieur forme un cube de $0^m,50$ de côté. Ces lits étaient remplis de scories lavées de 5 à 10 millimètres de diamètre environ.

On peut obtenir une nitrification très active et rapide en arrosant les scories avec de la délayure de bonne terre arable. On remplit ensuite pendant deux heures avec une solution

([1]) Une partie de ces expériences, effectuées par M. Rolants à l'Institut Pasteur de Lille, a été publiée dans la *Revue d'hygiène* 1901-1902-1903 et dans un rapport au Congrès d'hygiène de Bruxelles 1903.

d'ammoniaque en renouvelant les contacts deux fois par jour jusqu'à disparition de l'ammoniaque. On peut considérer les lits comme formés lorsqu'on obtient par 3 contacts la nitrification complète de 50 à 60 milligrammes d'ammoniaque.

*
* *

Nitrification de l'ammoniaque. — Nous avons recherché d'abord si l'ammoniaque peut, dans un milieu impur, se transformer intégralement en acide nitrique. Pour cela nous avons employé le lit de 0m,60 de hauteur. La solution mise en expérience contenait une proportion relativement considérable d'ammoniaque : 360 milligrammes par litre. Il a fallu 7 contacts de deux heures chacun (deux contacts par jour) pour obtenir la disparition complète de l'ammoniaque et sa transformation également complète en acide nitrique : en effet, nous voyons qu'il nous manque seulement 3mgr,9 d'azote sur les 301mgr,8 mis en expérience, quantité négligeable, eu égard aux erreurs possibles des analyses.

Milligrammes par litre.

	AMMONIAQUE		NITRITES		NITRATES		AZOTE	
	$Az H^3$	AZOTE CORRESPONDANT	$Az^2 O^3$	AZOTE CORRESPONDANT	$Az^2 O^5$	AZOTE CORRESPONDANT	RETROUVÉ	NON RETROUVÉ
Liquide mis en expérience.	360	296,6	0	0	20	5,2	301,8	
Après 1er contact . . .	155	100,6	2,5	0,9	337	87,3	197,8	104,0
— 2e — . . .	100	82,4	12,0	4,4	440	114,0	200,8	101,0
— 3e — . . .	56	46,1	16,0	5,8	780	202,0	253,98	47,82
— 4e — . . .	36	29,66	50,0	18,4	880	227,9	275,96	25,84
— 5e — . . .	10	8,24	34,0	12,5	1050	272,0	292,76	9,04
— 6e — . . .	1,5	1,24	3,0	1,1	1140	295,5	297,64	4,16
— 7e — . . .	0	0	0	0	1150	297,9	297,9	3,9

L'examen du tableau ci-dessus nous montre qu'au début il se fait une fixation de l'azote sur les scories, car, après le 1er contact, nous constatons une perte considérable d'azote : un tiers environ. Mais cet azote est rendu progressivement à l'état d'azote oxydé et nous retrouvons à la fin tout celui

que nous avions mis en expérience. La symbiose des ferments nitreux et nitrique est parfaite car nous ne trouvons jamais que des quantités d'acide nitreux faibles par rapport aux proportions considérables d'acide nitrique.

Cette expérience permet de montrer aussi l'influence de l'aération qui s'effectue spontanément lorsque le lit est vide. En effet, nous voyons que les contacts impairs 1 et 5 donnent proportionnellement une épuration plus parfaite que les contacts 2 et 4. Après le 1er contact, 62,8 pour 100 de l'ammoniaque ont disparu, et après le 5e, il disparaît encore 42,7 pour 100 de l'ammoniaque restant; tandis que respectivement, après les 2e et 4e contacts, la proportion d'ammoniaque disparue n'a été que de 25,4 pour 100 et 54,8 pour 100. Or, les contacts impairs avaient lieu le matin après 15 heures de repos des lits, tandis que les contacts pairs avaient lieu seulement 5 heures après les précédents.

*
* *

Le temps d'immersion des lits de contact doit-il être de 2 heures comme il est admis? Le tableau suivant, représentant des moyennes de plusieurs expériences, va nous permettre de répondre :

Influence du temps d'immersion des lits bactériens aérobies sur la nitrification de l'ammoniaque.

DURÉE DES CONTACTS	1/2 HEURE		1 HEURE		2 HEURES	
TITRE DE LA SOLUTION	50 milligr. pourcentage de l'Az H³ restant	100 milligrammes	30 milligr. pourcentage de l'Az H³ restant	100 milligrammes	30 milligr. pourcentage de l'Az H³ restant	100 milligrammes
Lits de 1 mètre de hauteur.						
Après 1er contact	58,2	53,6	55,8	52,6	51,8	55,7
— 2e —	51,0	55,8	26,4	55,1	29,4	59,7
— 5e —	15,8	21,5	11,4	19,0	11,2	22,8
Lits de 0m30 de hauteur.						
Après 1er contact	50,0	48,1	48,4	47,0	44,2	56,1
— 2e —	20,2	20,7	17,6	19,5	11,6	17,4
— 5 —	10,0	12,1	7,6	9,5	4,8	7,7

Lorsque l'aération est très bonne, comme dans les lits de peu de hauteur, la nitrification se poursuit après la première heure de contact; au contraire, si l'aération est moins parfaite, il n'y a aucun bénéfice appréciable à obtenir en prolongeant la durée de contact à 2 heures.

L'influence favorisante de l'aération, phénomène connu d'ailleurs, nous a conduit à tenter au laboratoire l'épuration continue.

Nous avons construit, à cet effet, l'appareil d'expérience que voici :

Un grand flacon à tubulure inférieure nous donnait un débit convenablement réglé de 500 centimètres cubes par 24 heures. La solution ammoniacale tombait goutte à goutte dans une série de trois tubes verticaux de 1 mètre de longueur et de 0^m,05 de diamètre, placés bout à bout, mais séparés les uns des autres de manière à permettre entre chacun d'eux le prélèvement d'un échantillon. La solution employée était de forte concentration : 560 milligrammes d'ammoniaque par litre.

Nitrification continue.

	AMMONIAQUE		NITRITES		NITRATES		AZOTE		
	AzH^3	AZOTE CORRESPONDANT	Az^2O^3	AZOTE CORRESPONDANT	Az^2O^5	AZOTE CORRESPONDANT	RETROUVÉ	NON RETROUVÉ	EN EXCÈS
Avant.	360	296,6	0	0	20	5,2	301,8	»	»
Après 1 mètre .	120	98,9	22	8,1	650	168,4	275,4	26,4	»
Après 2 mètres.	14	11,5	0,4	0,15	1160	300,4	312,05	»	10,25
Après 3 mètres.	0	0	0	0	1260	323,8	323,8	»	22,0

Comme dans notre première expérience nous retrouvons tout l'azote ammoniacal transformé en acide nitrique, le léger excès constaté provenant de l'évaporation de la solution.

*
* *

Ces premières expériences nous ayant montré la nitrification facile du sulfate d'ammoniaque, nous les avons renou-

velées avec d'autres sels ammoniacaux neutres avec le même résultat. Il existe des sels, comme les *carbonates*, qui se forment très facilement sous l'action de divers microbes (*micrococcus ureæ*, par exemple) et qui ont une réaction alcaline. Nous avons recherché si cette réaction alcaline était capable de nuire à la nitrification dans les lits bactériens aérobies et, dans l'affirmative, quelle était la dose nuisible.

Nous avons d'abord expérimenté l'ammoniaque pure du commerce que nous ajoutions à dose variable à l'eau ordinaire additionnée de 50 milligrammes de sulfate d'ammoniaque. Cette eau contenait 12 milligrammes de nitrates en Az^2O^5 par litre. Les solutions étaient mises en contact en même temps pendant 2 heures avec les scories dans une série de tubes de 1 mètre de haut et de 4 centimètres de diamètre. Le précipité de carbonate de chaux qui se produit par l'addition d'ammoniaque dans l'eau calcaire n'était pas séparé du liquide, car on sait que ce sel est indispensable à la nitrification.

Influence de l'ammoniaque libre sur la nitrification.

TUBES	AMMONIAQUE LIBRE AJOUTÉE PAR LITRE	ALCALINITÉ EN AzH^3 PAR LITRE	NITRATES (Az^2O^5) EN MILLIGRAMMES PAR LITRE						
			AVANT L'ADDITION D'AzH^3 1er JOUR	PENDANT L'ADDITION D'AzH^3					
				2e jour	3e jour	4e jour	5e jour	6e jour	7e jour
D	0	0	44	44	45	46	45	45	46
E	0gr 05	0gr 0486	45	44	76	90	90	90	100
F	0gr 10	0gr 0902	43	40	45	75	80	90	105
G	0gr 20	0gr 1735	44	41	35	26	18	22	28
H	0gr 50	0gr 4615	42	22	28	18	15	16	17
I	1gr 00	0gr 9669	43	18	22	15	11	12	12
K	2gr 00	1gr 9167	44	13	17	tr.	5	11	12

L'influence de l'ammoniaque sur la nitrification est très nette : d'abord favorisante lorsqu'elle est en faible proportion, l'ammoniaque devient nuisible pour de plus fortes concentrations.

Il n'en est pas de même du bicarbonate et du sesquicar-

bonate d'ammoniaque. Ces sels, même à la dose de 2 grammes par litre, se nitrifient d'une façon intensive. Cette constatation est heureuse car on ne trouve généralement dans les eaux d'égout l'ammoniaque qu'à l'état de sels, surtout de *carbonates*.

*
* *

Nitrification des composés organiques azotés. — L'*urée*, élément normal de l'urine, est très répandue dans les eaux d'égout; aussi a-t-elle été essayée en premier lieu. Une expérience effectuée dans les mêmes conditions que celle avec le sulfate d'ammoniaque nous a donné les résultats réunis dans le tableau suivant.

Nitrification de l'urée.

	URÉE		AMMONIAQUE		NITRATES		NITRITES		AZOTE	
	$CO(AzH^2)^2$	AZOTE CORRESPONDANT	AzH^3	AZOTE CORRESPONDANT	Az^2O^5	AZOTE CORRESPONDANT	Az^2O^3	AZOTE CORRESPONDANT	RETROUVÉ	NON RETROUVÉ
Avant	500	233	7,0	5,8	13,5	3,52	0	0	242,32	0
Après 1er contact	175,5	81.9	3,12	2,6	26	6,7	0,3	0,1	91,3	151,02
— 2e —	138.3	64,5	17,6	14,5	97	25,1	14,8	5.44	109,54	132,78
— 3e —	71,7	33,4	26,4	21,8	170	44,0	28,2	10,3	109,5	132,82
— 4e —	9,07	4,23	15,3	12,6	310	80,3	18,4	6,8	103,93	138,39
— 5e —	1,6	0,75	10.2	8,4	450	118,6	12,5	4,6	132,35	109,97
— 6e —	0	0	2,25	1,9	520	134,5	0.9	0,3	136,5	105,82
— 7e —	0	0	0,18	0,16	620	160,6	tr.	tr.	160,76	81,56

Malgré des expériences répétées, nous n'avons pu obtenir la transformation intégrale de l'azote de l'urée en acide nitrique. Il est vrai que, pour être nitrifiée, l'urée doit être transformée préalablement en carbonate d'ammoniaque. Cette transformation est du reste nettement indiquée par l'augmentation constante de l'ammoniaque jusqu'après le 3e contact. Ce carbonate d'ammoniaque perd facilement de l'ammoniaque au contact de l'air (probablement pendant les périodes d'aération du lit) pour se transformer en sesqui-

carbonate et même en carbonate volatil. Il faut aussi signaler l'action de l'acide nitreux sur l'urée.

$$2AzO^2H + CO(AzH^2)^2 = 3H^2O + 2Az^2 + CO^2.$$

Nous remarquons également, comme nous l'avons signalé pour le sulfate d'ammoniaque, qu'il se produit une fixation de l'urée (ou du carbonate d'ammoniaque qui en dérive) sur les scories.

Néanmoins toute l'urée est transformée soit en nitrates, soit en produits gazeux; les nitrites produits temporairement disparaissent après le 7e contact.

L'urée se décompose très facilement. Il en est de même de l'*acide urique* qui, par suite, donne lieu à la production de nitrates. Ainsi nous avons obtenu après 3 contacts de 2 heures :

Acide urique	100	milligrammes par litre :	Nitrates	84	milligrammes.
—	200	—	—	200	—

Les amides comme l'*asparagine* sont plus résistantes et il faut que la solution soit très peuplée de germes; aussi n'avons-nous obtenu qu'une nitrification très faible dans les solutions artificielles. Au contraire, nous avons rapporté dans le IIe volume de ces Recherches (page 259) que, dans les eaux de féculerie, ces composés disparaissent assez rapidement pour se transformer en nitrates.

La *peptone* en solution est un excellent milieu de culture pour les microbes; aussi pouvait-on espérer obtenir une bonne nitrification aux dépens de l'ammoniaque qu'elle peut fournir par sa décomposition.

Malgré notre désir, nous n'avons pu faire avec la peptone une expérience analogue à celles que nous avons relatées pour le sulfate d'ammoniaque et l'urée pour voir si tout l'azote de la peptone pouvait, par passages sur lits bactériens aérobies, être transformé intégralement en nitrates. En effet, cette expérience exigeant plusieurs jours, et dans l'obligation où nous nous trouvions de n'effectuer que deux contacts par jour, il s'établissait chaque nuit des fermentations putrides qui, par l'apport de nouveaux facteurs, rendaient impossible

l'étude de l'action des ferments aérobies. Ces fermentations putrides apparaissent très vite, comme on le verra dans le tableau suivant, car il se forme pendant le premier contact de l'ammoniaque, et une partie de l'ammoniaque se nitrifie. Les microbes dénitrifiants, qui trouvent dans les solutions de peptone un milieu favorable, agissent alors sans doute en décomposant une partie des nitrates formés par les ferments nitrifiants et donnent un dégagement d'azote gazeux. Quoi qu'il en soit, on constate toujours une perte en azote qui est probablement dégagé à l'état gazeux.

Nitrification de la peptone.

	PEPTONE		AMMONIAQUE $Az H^3$		NITRATES Az^2O^5		NITRITES Az^2O^3	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Avant.	150	400	5,0	5,0	15	15	0	0
Lits de 1m de haut.								
Après le 1er contact. . . .	26,4	105,5	3,6	6,6	65	120	6,8	17
— 2me —	8,7	33,1	1,6	5,8	85	180	0,6	10
Lits de 0m50 de haut.								
Après le 1er contact. . . .	30,8	161,6	4,1	6,4	62	110	9,8	19
— 2me —	11,7	45,1	1,8	3,7	85	170	2,6	16
— 3me —	6,8	22,1	0,5	2,05	90	190	traces	6,5

Ce tableau montre que la transformation en ammoniaque puis en nitrates est très rapide, mais aussi qu'elle est plus rapide dans les lits de plus grande profondeur. Il est à remarquer que, contrairement à ce qui avait été observé avec les ferments nitrifiants isolés par *Winogradsky*, et comme l'ont montré *Boullanger* et *Massol* à l'Institut Pasteur de Lille, les deux actions, décomposition de la peptone en ammoniaque et nitrification de l'ammoniaque peuvent se produire côte à côte. C'est, du reste, ce qui doit se passer dans la nature, où toutes ces fermentations se produisent simultanément au sein de la terre. La molécule de peptone a donc été détruite, une partie de l'azote a servi à former l'acide nitrique, l'autre partie a été éliminée à l'état gazeux. La petite quantité de pep-

tone qui reste après ces contacts est elle-même, comme nous avons pu nous en assurer, transformée peu à peu et, après quelques jours, l'eau n'en contient plus.

*
* *

Influence du glucose sur le travail des microbes nitrifiants. — Dans un travail paru sous ce titre [1], MM. *Winogradsky* et *Omélianshy* ont donné les résultats d'expériences montrant le rôle des matières organiques dans la nitrification. Parmi les matières hydrocarbônées, ces auteurs n'ont étudié que le glucose. Ils ont cultivé les ferments nitreux et nitrique dans les milieux minéraux ou nitreux contenant du glucose. Ils ont trouvé que, dans les solutions contenant $0^{gr},5$ de ce sucre par litre, la nitrification est faiblement retardée ; le retard augmente dans les solutions à 1 gramme, et dans les solutions à 2 grammes par litre l'oxydation est complètement supprimée.

Comme toutes les cultures étaient faites dans des liquides stérilisés, en ensemençant des ferments purs, soit nitreux, soit nitriques, et comme les fermentations duraient plusieurs jours, nous avons pensé qu'il serait intéressant de répéter ces expériences avec des milieux où la flore microbienne est très variée, comme cela existe dans les lits bactériens aérobies.

Pour cela, nous avons établi par de nombreux contacts avec des solutions de sulfate d'ammoniaque de concentration toujours identique, une nitrification constante dans une série de 7 tubes de verre de 1 mètre de long sur 4 à 5 centimètres de diamètre, remplis de scories. La quantité de nitrates, après chaque contact, était de 41 à 44 milligrammes par litre, ne variant que de 2 à 3 milligrammes. Nous avons fait alors passer sur ces lits des solutions contenant la même quantité de sulfate d'ammoniaque et des quantités croissantes de glucose. Puis, nous sommes revenus à la solution ne contenant que du sulfate d'ammoniaque. Cette dernière solution, faite avec l'eau de distribution de Lille, contenait 20 milligrammes d'ammoniaque et 11 milligrammes de nitrates (en Az^2O^5 par litre) pour 100.

[1] *Archives des sciences biologiques de St-Pétersbourg*, 1899.

Le tableau ci-dessous donne en milligrammes la quantité de nitrates (en Az^2O^5) par litre après chaque contact de 2 heures sur les lits bactériens aérobies. Il n'a été fait qu'un seul contact par jour.

Influence du glucose sur le travail des microbes nitrifiants. Résultats en milligrammes par litre.

TUBES	SOLUTION	SANS GLUCOSE 1er jour	AVEC GLUCOSE					SANS GLUCOSE		
			2e jour	3e jour	4e jour	5e jour	6e jour	7e jour	8e jour	9e jour
A	Ammoniacale	42	43	44	42	43	43	43	43	44
B	— 0gr01 glucose par lit.	43	43	44	43	42	44.	43	44	43
C	— 0gr,05 — —	41	39	38	36	36	37	38	42	40
D	— 0gr,10 — —	42	34	31	30	26	28	31	40	41
E	— 0gr,20 — —	41	31	28	27	22	23	31	40	41
F	— 0gr,50 — —	43	23	16	11	11	11	24	36	39
G	— 1gr,00 — —	42	16	11	6	6	6	17	30	32

On voit très nettement l'influence du glucose sur la nitrification, et d'une façon plus manifeste que dans les expériences de MM. *Winogradsky* et *Oméliansky*. A la dose de 0gr,05 par litre, le glucose entrave déjà la nitrification, et cette action devient de plus en plus évidente à mesure que la proportion de sucre augmente. Pour les solutions contenant 0gr,5 de glucose par litre, il semble n'y avoir aucune nitrification, et pour celle à 1 gramme il y a *dénitrification.*

Pour étudier la question d'un peu plus près, nous avons établi le tableau donnant pendant cette série d'expériences les quantités d'ammoniaque, d'azote nitreux [1] et nitrique trouvés dans les effluents des tubes F et G ayant contenu les solutions à 0gr,5 et 1 gramme de glucose par litre.

Les résultats indiqués dans le tableau suivant montrent que les choses ne se passent pas aussi simplement que nous le disions plus haut. En effet, si nous considérons l'effluent du tube F, nous voyons bien que la quantité de nitrates est

[1] Nous avons noté 0 de nitrites lorsqu'ils n'étaient pas décelables par la métaphénylène-diamine, mais il y en a toujours des traces après la nitrification (réactif de Tromsdof).

restée la même, mais il y a formation d'une quantité de nitrites très appréciable, 2ᵐᵍʳ,4 le sixième jour; de plus, la quantité d'ammoniaque a diminué. Il en est de même dans l'effluent du tube G le troisième jour; mais, à partir du quatrième jour, il ne peut plus être constaté qu'une *dénitrification* seule, toujours accompagnée d'une perte d'ammoniaque.

Résultats en milligrammes par litre.

	AMMONIAQUE en AzH^3		NITRATES en Az^2O^5		NITRITES en Az^2O^3	
	F	G	F	G	F	G
Liquide ammoniacal avant contact	20,0	20,0	11	11	0	0
1ᵉʳ jour — après sans glucose.	9,9	9,8	43	42	0	0
2ᵉ — — — avec glucose.	11,0	12,1	23	16	0,2	0,6
3ᵉ — — — —	12,3	12,8	16	11	0.6	0,9
4ᵉ — — — —	13,0	13,2	11	6	0.9	1.2
5ᵉ — — — —	13,3	13,8	11	6	1,2	1.8
6ᵉ — — — —	15,0	15,2	11	6	2,4	2,8
7ᵉ — — — sans glucose.	14,8	13,0	24	17	trace	trace
8ᵉ — — — —	14,4	14,5	36	30	trace	trace
9ᵉ — — — —	12,0	12,1	39	32	0	0

L'explication de ces transformations peut être tirée des travaux de MM. *Winogradsky* et *Omélianshy*, dont nous avons parlé et de ceux de M. *Dehérain* (¹).

Les premiers nous ont montré que la nitrification était gênée par le glucose qui agit comme un antiseptique, mais, aux doses employées dans leurs expériences, sans tuer les ferments, car nous les voyons reparaître aussitôt que l'on supprime la cause perturbatrice.

Avec M. *Dehérain* nous voyons que les *ferments dénitrifiants*, dégageant l'azote des nitrates à l'état gazeux, sont favorisés dans leur développement par les hydrates de carbone (surtout l'amidon). C'est ce qui fait que les ferments semblent s'être développés seuls dans le tube G.

Il y a donc ici une concurrence vitale. Deux sortes d'organismes se trouvent en présence : les ferments *nitrifiants*,

(¹) Dehérain. *Annales agronomiques*, 1897, page 49.

transformant presque intégralement l'ammoniaque en acide nitrique, sont peu à peu gênés dans leur action par le glucose; ce dernier favorise, au contraire, de plus en plus l'action des ferments *dénitrifiants*. Pour le tube F ces deux actions semblent se neutraliser, c'est-à-dire que les ferments dénitrifiants décomposent, au fur et à mesure de leur production, les nitrates formés par les ferments nitrifiants : c'est ce qui explique cette perte de 5 milligrammes d'ammoniaque et cette formation de $2^{mgr},4$ d'azote nitreux au 6e jour. Pour le tube G, il en est de même le 3e jour; mais à partir du 4e jour l'action des microbes dénitrifiants est prépondérante et ils s'attaquent même aux nitrates préexistant dans la solution. Néanmoins, il y a aussi une perte d'ammoniaque et, de plus, les ferments nitrifiants ne sont pas tués, puisque dès que l'on revient aux solutions ne contenant plus que du sulfate d'ammoniaque, l'oxydation reprend aussitôt.

On peut donc dire avec M. *Dehérain* que ces deux sortes de ferments peuvent très bien vivre côte à côte, et que les ferments dénitrifiants ne deviennent dangereux que si la matière hydrocarbonée est en grande quantité. Aussi, dans l'épuration des eaux résiduaires qui renferment des matières hydrocarbonées en plus ou moins grande abondance, comme dans les eaux de sucreries, il ne faudra jamais s'attendre à une nitrification intégrale de l'ammoniaque contenu dans ces eaux, résultat que nous avons obtenu avec des solutions ne contenant pas de matières organiques; suivant les cas, on obtiendra la nitrification d'une partie plus ou moins grande de l'ammoniaque ou une disparition de l'azote.

Influence de l'acidité sur la nitrification. — L'action nuisible de l'acidité du milieu sur la nitrification a déjà été démontrée, et *Ewel* et *Wiley* (1) ont établi que la nitrification s'arrête lorsque l'acidité correspond à 3 à 4 centimètres cubes de solution normale de soude.

Nous avons obtenu des chiffres un peu plus élevés dans nos lits de scories et nous avons vu que la nitrification se produit encore dans des solutions contenant $0^{gr},5$ d'acide sulfurique

(1). Compte rendu dans *Annales agronomiques*, 1897.

par litre ; il est vrai de dire qu'une partie de l'acide était saturée par les scories, de sorte qu'il n'en restait plus que $0^{gr},54$ après contact. Au delà de cette dose la nitrification était arrêtée.

Influence de l'alcalinité sur la nitrification. — L'alcalinité a une action tout autre : d'abord indifférente, elle favorise ensuite la nitrification pour l'entraver enfin aux doses plus élevées.

Nous avons, dans notre série de tubes, ajouté à des solutions identiques de sulfate d'ammoniaque des doses croissantes de carbonate de soude.

Nous avons dosé l'alcalinité dans l'eau avant et après contact par la méthode ordinaire employée dans l'analyse des eaux potables. Dans le tableau suivant, l'alcalinité est représentée en carbonate de chaux et l'acide nitrique en Az^2O^5, le tout en milligrammes par litre :

	Alcalinité		
	Avant contact.	Après contact.	Nitrates
Solution sans carbonate de soude.	»	»	50
— avec —	360	290	55
— — —	450	310	65
— — —	650	500	75
— — —	870	660	80
— — —	925	716	85
— — —	1310	1158	75
— — —	1732	1568	72
— — —	2147	2022	25
— — —	2618	2596	25

Il semble donc que les eaux ayant une alcalinité voisine de 900 donnent les meilleurs résultats, puis lorsque l'alcalinité double, la nitrification est arrêtée.

Nous devons aussi signaler la perte constante en alcalinité tant que celle-ci n'est pas trop grande. Nous l'avions déjà remarquée dans nos nombreuses analyses d'eaux d'égout épurées par les procédés biologiques, et cela n'est pas pour nous surprendre, car il est indispensable que l'acide nitrique formé puisse être saturé aussitôt par une base qu'il trouve ici en combinaison à l'état de carbonate facilement décomposable par cet acide.

Nous pouvons donc retenir de ces expériences que l'alcalinité, aux doses où on la rencontre dans les eaux d'égout, n'est nullement nuisible ; au contraire, elle exerce une influence favorable.

Influence des sulfures. — L'hydrogène sulfuré et les sulfures sont des produits constants de la décomposition des matières protéiques ; il s'en forme aussi par décomposition des sulfates par certaines bactéries.

Pendant le séjour en fosse septique, les sulfures apparaissent toujours en plus ou moins grandes quantités suivant la pollution des eaux d'égout et suivant la durée de ce séjour. Après passage sur les lits bactériens fonctionnant normalement, ces sulfures disparaissent ; ils se transforment en sulfates comme nous allons le voir.

Nous avons recherché, par la méthode que nous avons exposée déjà à plusieurs reprises, si les sulfures exercent une action sur la nitrification.

	SULFURES			
	Avant contact.	Après contact.	NITRATES	ACIDE SULFURIQUE
Solution de sulfate d'ammoniaque.	0	0	60	127
—	10	1	55	»
—	20	1	52	»
—	50	7	55	504
—	90	20	55	424
—	200	31	50	695
—	500	340	32	317

Les sulfures sont exprimés en H^2S, les nitrates en Az^2O^5 et l'acide sulfurique en SO^4H^2.

Nous voyons que, jusqu'à 200 milligrammes par litre, les sulfures ne nuisent pas à la nitrification ; à 500 milligrammes, la nitrification est arrêtée, car l'eau qui servait aux solutions contenait 30 milligrammes de nitrates.

Ces résultats montrent très nettement l'oxydation des sulfures en sulfates et on peut attribuer cette oxydation à une action microbienne, si on remarque qu'elle diminue en même temps que la nitrification. Nous n'avons pas fait d'expériences pour établir plus nettement cette action.

Influence des antiseptiques. — Nous n'avons étudié que quelques antiseptiques et nous avons choisi ceux qui peuvent passer intacts dans la fosse septique. Cela nous a fait rejeter les sels métalliques comme le bichlorure de mercure qui se combinent à l'hydrogène sulfuré pour donner des sulfures insolubles.

L'*acide phénique* est un des antiseptiques les plus employés. Il a peu d'action sur la nitrification, il faut une dose supérieure à 2 grammes par litre pour qu'il commence à l'entraver.

Le *lysol*, solution alcaline de phénols, est souvent utilisé en raison de l'action dissolvante de l'alcali qu'il contient sur les mucosités, ce qui permet à cet antiseptique d'agir sur les microbes infectieux. Jusqu'à la dose de $0^{gr},50$ par litre, la nitrification s'effectue normalement. A la dose de $0^{gr},75$ la nitrification se ralentit d'abord, puis cesse.

Les *fluorures* sont employés dans les industries de fermentation pour mettre les moûts à l'abri des fermentations nuisibles. Nous avons été incités à étudier l'action de ces composés sur la nitrification à propos de nos essais d'épuration biologique de vinasses de distillerie de betteraves, car les vinasses avec lesquelles nous avons expérimenté contenaient des fluorures.

La dose d'acide fluorhydrique employée dans l'industrie est de 4 grammes par hectolitre, soit $0^{gr},04$ par litre. Il ne faut pas oublier que, en distillerie, l'action antiseptique de l'acide fluorhydrique est renforcée par ce fait que les moûts sont toujours plus ou moins acides; le contraire doit avoir lieu pour l'épuration biologique qui ne peut, nous l'avons vu, s'effectuer convenablement qu'en milieu neutre ou mieux alcalin.

Les petites quantités de fluorure se sont montrées favorables à la nitrification et c'est la dose de $0^{gr},150$ par litre qui a constamment donné les meilleurs résultats. La nitrification reste constante jusqu'à la dose de $0^{gr},480$ par litre; mais à celle de $0^{gr},600$ l'action antiseptique devient manifeste.

Influence du sulfocyanate de potassium. — On sait que les sulfocyanates sont des produits constants des eaux de lavage de gaz d'éclairage et peuvent se rencontrer dans les eaux d'égout. Il était intéressant de voir, non seulement si ces com-

posés avaient une influence sur la nitrification, mais aussi s'ils se décomposaient comme on l'avait annoncé.

Nous donnons les moyennes d'un certain nombre de contacts dans nos lits de scories au laboratoire.

	SULFOCYANATES EN CAzH		
	Avant contact.	Après contact.	NITRATES.
Eau de distribution	»	»	27
Solution de sulfate d'ammoniaque.	»	»	61
— —	22	20	55
— —	44	40	55
— —	100	100	42
— —	200	200	29

Nous voyons que les sulfocyanates peuvent entraver la nitrification. Mais nous constatons aussi qu'ils échappent à toute oxydation dans les lits bactériens aérobies.

Conclusions. — De ces expériences nous pouvons tirer un certain nombre d'indications pour la pratique de l'épuration biologique des eaux d'égout :

1° Les sels ammoniacaux, même ceux ayant une réaction alcaline, peuvent être nitrifiés intégralement dans les lits bactériens. L'ammoniaque libre, en proportion assez forte, gêne la nitrification.

2° La plupart des composés organiques azotés et surtout ceux qui dérivent, soit d'une digestion diastasique seule, soit d'une décomposition microbienne, peuvent fournir des nitrates par l'action des ferments nitrifiants. Cependant, certains de ces composés étant très nutritifs, les ferments dénitrifiants y pullulent facilement et détruisent le travail des ferments nitrifiants : il en résulte un dégagement d'azote.

3° La décomposition des matières organiques azotées peut se produire simultanément avec la nitrification ; les deux fermentations semblent ne pas se gêner.

4° Le phénomène que nous avons signalé au paragraphe 2 se produit aussi avec le glucose. Pour une eau très chargée en matières hydrocarbonées, le séjour dans les lits bactériens aérobies peut faire disparaître l'azote sans formation d'ac de nitrique. Les eaux d'égout étant de composition très complexe,

il n'y a donc pas lieu d'attacher une trop grande importance à la formation de quantités notables de nitrates : il est préférable de se contenter de voir si l'azote ammoniacal et surtout l'azote organique ont disparu.

5° L'acidité même faible est nuisible à la nitrification.

6° L'alcalinité, même assez forte, ne nuit pas à la nitrification ; au contraire, lorsqu'elle est faible, elle lui est favorable.

7° Les sulfures n'ont une action nuisible sur la nitrification que si leur proportion est assez forte. Ces sulfures sont facilement oxydés pendant le séjour dans les lits bactériens aérobies.

8° Les antiseptiques (acide phénique, lysol, acide fluorhydrique) n'empêchent la nitrification que s'ils se trouvent dans les eaux en proportion élevée.

9° Les sulfocyanates ne sont pas décomposés par les actions microbiennes des lits bactériens aérobies.

CHAPITRE X

NOUVEAUX LITS BACTÉRIENS DE *DIBDIN*, EN ARDOISES (*SLATE BEDS*)

Les matériaux employés pour le remplissage des lits bactériens de contact (coke, scories, etc...) réduisent toujours considérablement — environ des deux tiers — la capacité volumétrique utile de ces lits, puisque l'eau ne peut pénétrer que

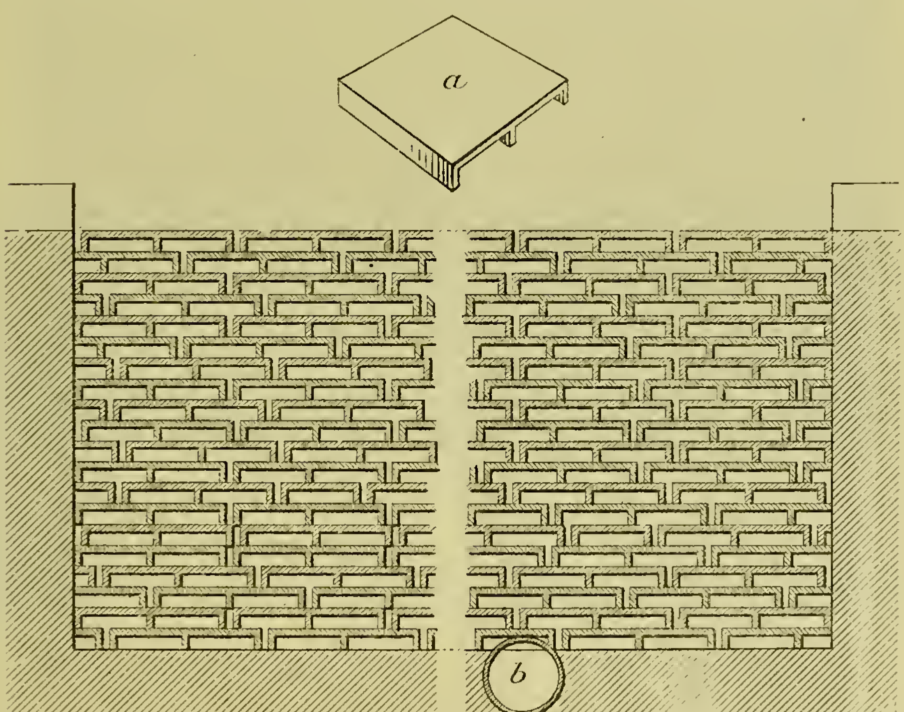


Fig. 2. — Lit bactérien de contact, d'après Dibdin, en tuiles plates (tiles bed).

dans les pores et dans les interstices que laissent entre eux les fragments.

Cette considération a conduit M. *W. J. Dibdin* [1] à remplacer

[1] *Recents improvements in methods for the biological Treatment of sewage*. Londres, 1907.

les matériaux usuels par des plaques d'ardoise de $0^m,30$ à $0^m,90$ carrés de surface, sur $0^m,08$ environ d'épaisseur, posées à plat et séparées les unes des autres par de petits fragments de la même substance ; ou bien, à défaut d'ardoises, par des tuiles spéciales rectangulaires, munies de talons (*fig.* 2).

Avec un arrangement convenable de ces tuiles ou de ces ardoises, on réussit à construire des lits de contact dont la



Fig. 3. — Lit bactérien en ardoises, de *Dibdin*, à *Devizes* (*slate bed*).

capacité utile occupée par l'eau peut s'élever à 87 pour 100 de leur capacité géométrique.

Pendant dix-huit mois consécutifs, à partir de septembre 1905, *Dibdin* a expérimenté un de ces lits à *Devizes* (*fig.* 3 et 4) en y admettant de l'eau d'égout brute, non criblée et non fermentée préalablement en fosse septique.

Le même dispositif a été appliqué sur une plus grande échelle à *Trowbridge*, puis à *High Wicombe* et à *Malden* (Surrey) (*fig.* 5).

Les résultats obtenus ont été très satisfaisants.

A *Trowbridge* on étudia comparativement la marche de

l'épuration d'un effluent de fosse septique sur les lits formés d'ardoise, de calcaire concassé, de briques et de scories. Le pourcentage de l'épuration avec un seul contact sur les différents matériaux fut :

Ardoises	52 0/0
Calcaire concassé	47 0/0
Briques	55 0/0
Scories	45 0/0

A *High Wicombe*, les expériences conduisirent le Comité des travaux publics à adopter les lits d'ardoises comme lits de

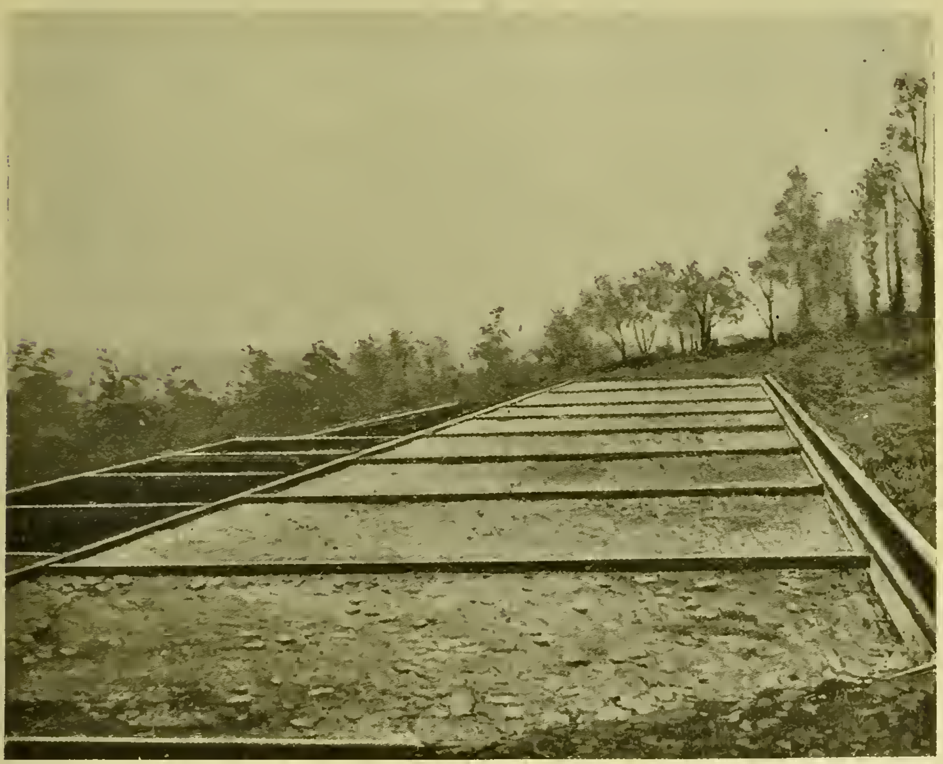


Fig. 1. — Vue générale des lits bactériens en ardoise, de *Dibdin*, à *Devizes*.

contact primaires en supprimant la fermentation préalable en fosse septique et en remplaçant celle-ci par une simple décantation. On constata en effet que les matières en suspension sont très bien retenues par les ardoises et qu'il est facile de nettoyer celles-ci, lorsqu'elles en sont trop encombrées, à l'aide d'un simple courant d'eau, sans qu'il en résulte, comme avec les scories, une perte importante de matériel qu'il faut remplacer.

L'effluent de ces lits de contact primaires en ardoise est alors très apte à se purifier, soit par irrigation sur le sol, soit par des lits bactériens à percolation.

L'idée que *Dibdin* a mise en pratique est évidemment excellente en ce sens que, lorsqu'on a affaire à une eau d'égout peu concentrée et bien décantée, il est possible, avec un lit de contact en ardoises, de supprimer la fosse septique, par con-



Fig. 5. — Construction d'un lit d'ardoises à *Malden* (Surrey).

séquent les fermentations putrides et les odeurs qu'elles répandent. On a, en outre, l'avantage de disposer ainsi d'un matériel presque inusable, facile à nettoyer et à remettre en place. Mais ce système ingénieux présente l'inconvénient de nécessiter des dépenses énormes comme frais de première installation, alors même qu'on tient compte de l'augmentation de capacité des lits, qui est à peu près doublée. Aussi pensons-nous que, pour les lits de contact, les scories, choisies *aussi dures que possible*, — celles des hauts fourneaux par exemple, — seront toujours préférables.

CHAPITRE XI

LITS BACTÉRIENS A TOURBE

Dans une communication à l'Académie des Sciences [1] MM. *A. Müntz* et *E. Lainé* indiquaient récemment que la tourbe, résidu de la décomposition des végétaux au sein de l'eau, formait un support très favorable à l'activité des microbes nitrifiants.

Des tourbes, à des états de décomposition différente (tourbe mousseuse de Hollande, employée comme litière, tourbes spongieuses de surface ou tourbes compactes de fond, prises dans les tourbières de l'Yonne et de la Somme), avaient été expérimentées par ces savants. Divisées en fragments, mélangées de calcaire et ensemencées d'organismes vivaces, puis additionnées de sulfate d'ammoniaque, elles devenaient le siège d'une nitrification extraordinairement active, dépassant de beaucoup celle que peuvent fournir les terres riches en matières organiques.

Cette intensité dans les phénomènes d'oxydation suggéra à MM. *Müntz* et *Lainé* l'idée que la tourbe pouvait être également utilisée pour l'épuration des eaux d'égout.

En 1896, le Dr *Franck*, de *Wiesbaden* [2], avait déjà publié une étude sur le même sujet. Il avait construit des filtres d'expériences composés de $0^m,10$ de gros gravier, de $0^m,10$ de gravier fin et de $0^m,10$ de tourbe broyée sous l'eau. Mais au lieu de distribuer l'eau par intermittences à la surface de ces filtres, comme le font MM. *Müntz* et *Lainé*, il laissait celle-ci en charge continue sur le support sous une épaisseur de $0^m,60$. Il en résulta un colmatage rapide nécessitant des remanie-

(1) Comptes rendus, 5 juin 1906.

(2) *Hygienische Rundschau*, 1896, n° 8, et *Gesundheits Ingenieur*, 1906, nos 21 et 22.

ments fréquents de la tourbe et qui détermina à abandonner les essais.

Nous les avons repris à la Station expérimentale de la Madeleine et nous avons construit, à cet effet, un lit bactérien de 14 mètres carrés de surface disposé comme suit :

Sur une sole bétonnée, on a posé une couche de grosses scories de 10 centimètres, puis des scories tout venant bien criblées, sur $0^m,40$. Sur celles-ci fut étendue une couche de 10 centimètres de tourbe mousseuse de Hollande, préalablement bien divisée, puis une nouvelle couche de 40 centimètres de scories tout venant, débarrassées de poussières, une autre couche de 10 centimètres de tourbe et enfin une dernière couche de mâchefer de 10 centimètres, destinée à préserver la tourbe contre le colmatage de surface.

Le lit avait donc, au total, $1^m,20$ de hauteur. L'eau y fut distribuée par une série de gouttières longitudinales en bois, en forme de V portant une fente à leur angle, tous les 20 centimètres. Ces gouttières étaient alimentées par intermittence environ 4 fois par heure à l'aide d'une nochère commune et d'un siphon *Parenty*.

La comparaison entre les résultats obtenus avec ce lit à tourbe et notre grand lit percolateur de 400 mètres carrés était rendue aussi exacte que possible, l'eau distribuée aux deux appareils étant la même et en même volume proportionnellement à la surface.

La mise en service commença en avril 1907 et on fit en mai et en juin deux séries d'analyses parallèles, pendant 6 jours chaque fois, du 6 au 11 mai et du 17 au 22 juin.

Au début, les eaux épurées par l'un et par l'autre lit présentèrent des caractères chimiques très voisins. Pourtant l'effluent du lit à tourbe était de couleur plus jaune que celui du grand lit à scories seules : l'épreuve de l'oxydabilité au permanganate montrait d'ailleurs qu'il y avait entraînement d'une partie des matières organiques provenant de la tourbe.

Au bout d'un mois, on constatait déjà qu'entre deux périodes de déversement intermittent l'eau s'infiltrait difficilement dans le lit à tourbe. Cette dernière se colmatait malgré la protection des scories dont on avait pris soin de la recouvrir, et l'eau non épurée cherchait latéralement une

issue à travers les parois du lit, comme le font les eaux souterraines retenues par une couche imperméable.

Des communications ne tardèrent pas à s'établir entre la surface et le fond par les bords du lit, de sorte qu'une portion plus ou moins grande d'eau non épurée parvenait au drainage sans subir d'oxydation.

Le tableau ci-après résume les résultats moyens de nos analyses pour les deux périodes indiquées plus haut.

Influence de la tourbe sur l'épuration des eaux d'égout par lits bactériens percolateurs.

1907	OXYGÈNE ABSORBÉ EN 3 MINUTES			OXYDABILITÉ EN OXYGÈNE		AZOTE		Nitrates	Nitrites	APRÈS INCUBATION		
	Avant incubation	Après incubation	En 4 heures	Solution acide	Solution alcaline	Ammoniacal	Organique			Ammoniaque	Nitrates	Nitrites
6 au 11 mai												
Scories et tourbe	3,4	2,3	7,1	17,0	13,8	0,4	3,4	46,2	1,9	0.	50,5	3,3
Scories seules.	1,8	1,5	4,5	9,9	8,7	0.7	2,5	48,8	0,9	0,5	46,8	2,8
17 au 22 juin												
Scories et tourbe	2,2	2,1	7,2	14,5	12,9	1,1	4,8	34,5	1,2	1,0	30.5	1,7
Scories seules.	1,6	1,8	3,5	10,7	9,5	0,4	4,8	35,8	0,4	tr.	40,5	0,7

D'après ces expériences, que nous poursuivons d'ailleurs en modifiant leurs conditions, il paraît résulter que, si la tourbe est, comme l'ont montré *MM. Müntz* et *Lainé*, un milieu très favorable à la multiplication des microbes nitrificateurs, lorsqu'il s'agit de faire nitrifier à ces derniers du sulfate d'ammoniaque en vue de l'obtention de solutions riches en nitrates, ou des eaux d'égout pauvres en matières colloïdales, elle ne peut pas être employée comme support bactérien dans les lits destinés à l'épuration de toutes les eaux d'égout. Du moins celles de la Madeleine contiennent trop de matières colloïdales retenues par la tourbe qui ne tarde pas à se colmater et à devenir imperméable. La facilité même avec laquelle elle

favorise le développement des microbes augmente son imperméabilité en la transformant en une véritable membrane dialysante : l'épaississement rapide de celle-ci empêche l'accès de l'air d'abord, puis celui de l'eau aux couches de scories sous-jacentes.

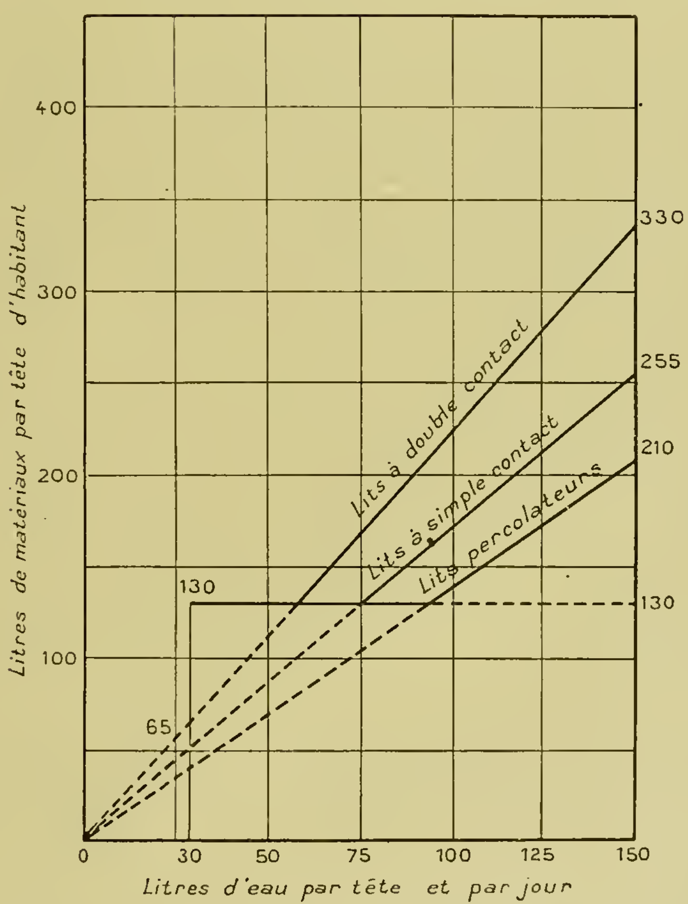
Pour que la tourbe puisse être utilisée avec avantage, nous pensons qu'il faudrait éviter de la placer en couches horizontales continues, et en mélanger seulement une petite proportion aux matériaux de construction des lits avant la mise en place de ces matériaux. Ainsi disséminée, elle favoriserait vraisemblablement la multiplication des microbes nitrificateurs sous forme de *colonies d'entretien*, sans gêner sensiblement la perméabilité de la masse filtrante. Nos recherches actuelles sont orientées dans cette direction [1].

[1] Au moment où nous achevons la correction des épreuves de ce volume, *MM. Müntz* et *Lainé* font connaître, dans une nouvelle communication à l'Académie des Sciences (13 janvier 1908), les résultats de leurs essais d'épuration des eaux d'égout de Paris avec des fragments de tourbe de la Somme dont l'acidité a été saturée par du carbonate de chaux. Ces résultats, très intéressants, montrent que, dans les conditions précisées par ces savants, la tourbe peut constituer un excellent matériel pour la construction de lits bactériens percolateurs à grand débit.

CHAPITRE XII

QUANTITÉS DE MATÉRIAUX NÉCESSAIRES POUR L'ÉTABLISSEMENT DES LITS BACTÉRIENS DE CONTACT OU PERCOLATEURS

Le graphique n° 12 indique, d'après *Imhoff* (1), la quantité de matériaux nécessaires, évalués en litres par tête d'habitant,



Graphique n° 12. — Quantités de matériaux (en litres par tête d'habitant) suivant la quantité d'eau consommée par tête et par jour. (D'après Imhoff.)

suivant le nombre d'habitants et suivant la quantité d'eau consommée par habitant et par jour. Les lignes obliques cor-

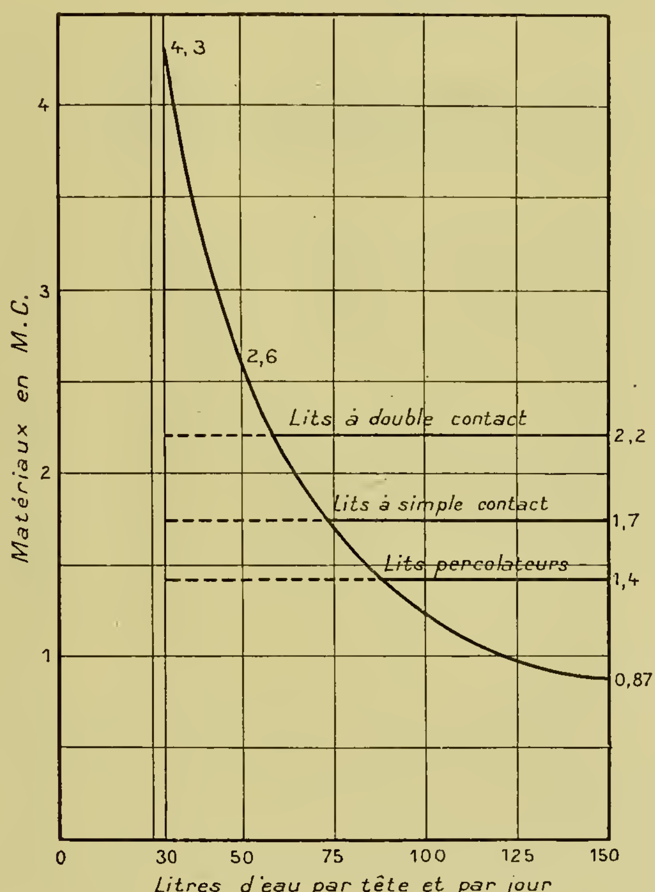
(1) *Die biologische Abwässer-Reinigung in Deutschland*, Berlin 1906.

respondent à l'évaluation des matériaux d'après la quantité d'eau consommée par habitant et par jour. La ligne horizontale correspond à l'évaluation des matériaux par tête. Cette quantité doit être au moins de 130 litres par habitant. On voit que, pour les consommations d'eau comprises entre 60 et 90 litres par tête et par jour, il n'y a pas de très grandes différences entre les deux modes d'évaluation, mais, au-dessous et au-dessus de ces chiffres, les différences deviennent sensibles. Par exemple, pour une consommation de 50 litres par tête et par jour, il faudrait, par le procédé par double contact, 65 litres de matériaux par tête en évaluant les matériaux d'après la quantité d'eau consommée, et 130 litres par tête en les évaluant par tête d'habitant. Pour une consommation en eau de 150 litres par tête, il faudrait au contraire, pour le procédé par double contact, 130 litres de matériaux par tête en évaluant ces matériaux par tête d'habitant et 330 litres en les évaluant d'après la quantité d'eau consommée.

Le graphique n° 13 indique la quantité de matériaux en mètres cubes par habitant et par mètre cube d'eau traitée. Ici les lignes horizontales représentent l'évaluation des matériaux en mètres cubes par mètre cube d'eau : il faut toujours compter au moins 2^{mc},2 de matériaux par mètre cube d'eau avec les procédés par double contact, 1^{mc},7 avec les procédés par simple contact, 1^{mc},4 avec les procédés à percolation. La courbe représente l'évaluation des matériaux en mètres cubes par tête d'habitant, suivant la consommation journalière. On voit aussi que, pour les consommations d'eau comprises entre 60 et 90 litres par tête et par jour, il n'y a pas de très grandes différences entre les deux modes d'évaluation. Mais, au-dessus et au-dessous, les différences deviennent considérables. Par exemple, pour une consommation en eau de 30 litres par tête et par jour il faut, avec le procédé par double contact, 2^{mc},2 de matériaux par mètre cube d'eau traitée, ou 4^{mc},3 si l'évaluation est faite par tête d'habitant. De même, pour une consommation de 150 litres, il faut 2^{mc},2 de matériaux par mètre cube d'eau traitée, et 0^{mc},87 si l'évaluation est faite par tête d'habitant.

Pratiquement, on emploiera pour les lits à percolation l'évaluation par tête d'habitant pour les consommations comprises

entre 50 et 90 litres, et l'évaluation d'après la quantité d'eau consommée par jour pour les consommations supérieures à 90 litres. On comptera de même par tête d'habitant avec les lits à simple contact pour les consommations comprises entre



Graphique n° 13. — Quantités de matériaux en mètres cubes par mètre cube d'eau d'égout à traiter par jour suivant la consommation journalière. (D'après Imhoff.)

50 et 80 litres; avec les lits à double contact, pour les consommations comprises entre 50 et 60 litres. On comptera au contraire d'après la quantité d'eau consommée par jour pour les chiffres supérieurs à 80 litres avec les procédés à simple contact, et à 60 litres avec les procédés à double contact.

D'après les calculs que nous avons effectués nous-mêmes, ces évaluations dressées par *Imhoff* doivent être considérées comme représentant des moyennes généralement exactes.

CHAPITRE XIII

DÉCANTATION ET DÉSINFECTION DE L'EAU ÉPURÉE AU SORTIR DES LITS BACTÉRIENS PERCOLATEURS

1° **Décantation de l'eau épurée.** — Dans l'effluent des lits bactériens percolateurs, on constate toujours l'existence de particules en suspension plus ou moins colorées et qui sont constituées par des zooglées de microbes et par des parcelles d'humus ou de fins précipités d'oxyde de fer. Ces matières donnent à l'eau un aspect légèrement louche et, bien que leur présence ne soit aucunement l'indice d'un mauvais fonctionnement des lits, — tout au contraire, — on peut dans certains cas trouver préférable de les séparer, s'il s'agit par exemple de rejeter l'effluent dans un cours d'eau très limpide et à faible débit.

Pour y parvenir, nous avons proposé et expérimenté l'emploi d'un filtre à sable de faible épaisseur; mais c'est un moyen coûteux parce qu'il nécessite beaucoup de main-d'œuvre pour l'entretien de la surface du filtre en bon état de perméabilité, et aussi parce qu'il exige une étendue de terrain au moins égale à celle occupée par les lits bactériens eux-mêmes.

John D. Watson, à *Birmingham*, a obtenu des résultats presque aussi satisfaisants dans des conditions beaucoup plus économiques : il dispose tout simplement, sur le trajet du canal qui collecte l'effluent des divers lits bactériens, un ou plusieurs bassins en forme de pyramide renversée à base rectangulaire. Les eaux s'y déversent sans remous en large nappe sur l'un des bords, cheminent dans le bassin à une vitesse telle que chaque molécule de liquide met environ 30 minutes à le traverser, et ressortent également en large nappe par le bord opposé.

Les particules en suspension se déposent dans une cuvette au fond de la pyramide. Elles peuvent en être expulsées de

temps en temps par la simple pression du liquide sus-jacent au moyen d'une valve et d'un tuyau qui permet de les déverser, soit sur le sol voisin, soit dans une tranchée, soit dans des wagonnets. Ces boues, complètement inodores et inoffensives, représentent d'ailleurs un volume presque insignifian et le coût de leur séparation, à *Birmingham*, n'atteint pas 1 centime pour 20 000 mètres cubes.

Ces bassins de décantation pour l'eau épurée ou *separators* présentent en outre l'avantage de faciliter l'achèvement du processus d'épuration avant le rejet de l'effluent à la rivière. Il est donc recommandable, au moins pour les grandes installations urbaines, d'en prévoir un ou plusieurs d'une capacité totale correspondant au quarantième environ du volume d'eau d'égout épurée en 24 heures.

2° **Désinfection de l'eau épurée**. — Nous avons vu précédemment (vol. II, p. 55) que les eaux épurées, soit par lits de contact, soit par lits percolateurs, renferment toujours un nombre de germes microbiens relativement considérable (de 800 000 à 5 000 000). L'immense majorité de ces germes est constituée par des espèces qui jouent un rôle utile dans la minéralisation de la matière organique. Il ne saurait donc être question de chercher à les supprimer, car, si les lits bactériens en étaient privés, leur fonction épuratrice serait abolie.

Mais comme, parmi ces germes, quelques espèces pathogènes peuvent survivre, traverser les matériaux poreux du lit et se retrouver dans l'effluent, il y a des circonstances où il devient nécessaire d'assurer leur destruction avant le rejet de cet effluent dans un cours d'eau.

Tel est le cas, par exemple, où l'on serait obligé de déverser des eaux biologiquement épurées dans une rivière, en amont d'une prise d'eau servant à l'alimentation d'une ville, ou dans la mer au voisinage de parcs à huîtres.

Il faut alors faire en sorte que l'effluent final soit *désinfecté* et rendu complètement *inoffensif*.

On peut atteindre ce résultat sans grands frais en aménageant, après le bassin de décantation dont nous avons parlé ci-dessus, un second bassin plus vaste, permettant de retenir les eaux épurées pendant environ deux heures et de mélanger à celles-ci, à leur entrée dans ce second bassin, une substance

énergiquement bactéricide à une dose qui ne soit pas susceptible d'intoxiquer ensuite les êtres vivants supérieurs.

L'antiseptique de choix est celui qui, après avoir produit ses effets, se décompose et disparaît sans laisser de traces dans l'effluent.

Les moins coûteux et les plus efficaces sont le chlorure de chaux que nous avons plus particulièrement étudié et le permanganate de soude ou de chaux, indiqué par *Bordas*.

Le mélange doit être fait dès l'entrée dans le bassin, de telle sorte que l'eau soit parfaitement mélangée au réactif.

La dose de permanganate de soude ou de chaux à employer, d'après *Bordas*, est de $0^{gr},50$ par mètre cube.

Rideal, puis *Phelps et Carpenter* [1] ont établi que de très petites quantités de chlore seul sont capables de rendre un effluent pratiquement stérile.

Nous avons fait quelques essais de stérilisation sur l'effluent de notre lit à percolation de la Madeleine. Nous avons employé des solutions de chlorure de chaux du commerce que nous avons filtrées et dans lesquelles nous avons dosé le chlore actif. Les chiffres que nous donnons ci-après indiquent les quantités de chlore.

	PAR CENTIMÈTRE CUBE	
	Nombre de colonies microbiennes.	Nombre de colonies liquéfiantes.
Effluent du lit à percolation.	105 000	8 000
Chlore 3 milligr. par litre. .	70	120
— 6 — — . .	70	40
Permanganate de chaux :		
20 milligr. par litre. .	400	100
40 — — . .	350	80
Sulfate de cuivre :		
100 milligr. par litre. .	< 10 000	< 1 000
200 — — . .	9 000	100

Nos expériences confirment les conclusions de *Phelps* et *Carpenter* qui avaient fixé à 5 milligrammes par litre la quantité de chlore nécessaire pour la stérilisation. Les quelques colonies qui persistent proviennent de germes sporulés, tels que le *subtilis*, tout à fait inoffensifs.

On doit donc admettre qu'un effluent traité par 5 milligrammes

[1] *Sanitary Record*, 31 janvier 1907 et suivants.

de chlore actif par litre fournira, après une action de deux heures, une eau débarrassée de tout microbe pathogène.

L'évaluation du coût de cette stérilisation est facile à établir. Le prix du chlorure de chaux, à Lille, est de 18 francs les 100 kilogrammes pris par 500 kilogrammes au minimum. Le chlorure de chaux commercial doit contenir le tiers de son poids en chlore actif, ce qui donne le prix de 54 francs pour 100 kilogrammes de chlore actif.

Si l'on emploie 5 milligrammes de chlore par litre, 1000 mètres cubes d'eau traitée nécessiteront 5 kilogrammes de chlore, soit 2 fr. 70 pour la dépense de réactif. Ce prix peut paraître assez élevé, mais comment peut-on mettre en balance la sécurité que donne un effluent ainsi rendu absolument inoffensif, en regard de la contribution si faible de 0 fr. 10 à 0 fr. 20 par habitant et par an?

Pour une installation très importante, le prix de revient du chlorure de chaux pourrait probablement être abaissé. D'ailleurs, *Phelps* et *Carpenter* ont établi que, lorsque la consommation de chlore est considérable, on peut le produire sur place et l'employer à l'état gazeux, ce qui réduit de moitié le prix du réactif.

Dunbar a comparé le prix des divers désinfectants utilisés pour tuer les microbes dans les eaux après l'épuration biologique artificielle et il est arrivé aux chiffres suivants [1] :

Désinfectant.	Prix de la désinfection, le chlorure de chaux étant pris comme unité.
Chlorure de chaux	1
Chaux	2
Chlorure de cuivre	4
Permanganate de potasse	6
Chloros	6
Eau de Javel	8
Acide sulfurique brut	10
Acide phénique brut	20
Sublimé	25
Sulfate de fer	40
Sulfate de cuivre	150
Lysol	500
Formaline	500

Le chlorure de chaux est donc le désinfectant le plus économique : il est plus cher que la chaux, mais il agit à une

[1] *Leitfaden für die Abwasserreinigungsfrage,* München und Berlin, 1907.

concentration de 1 : 15000, mieux que la chaux à une concentration de 1 : 500.

En outre, il a l'avantage de ne pas donner de précipitation appréciable.

Les recherches de *Schumacher* et celles de *Schwartz* ont montré qu'il est nécessaire, pour contrôler l'action du chlorure de chaux et des désinfectants en général, d'opérer sur des volumes assez considérables. *Schumacher* a vu qu'en additionnant l'eau de 5 grammes de chlorure de chaux par mètre cube, on trouve encore, après deux heures, du *Bacterium Coli* vivant dans 12 pour 100 des prises d'échantillons d'un litre. Avec une addition de chlorure de chaux de 1 : 5000, le chiffre est monté à 38 pour 100. En prolongeant la durée de contact jusqu'à 3 heures et demie, la destruction du *bact. coli* est totale (*Dunbar*). *Schwartz* a montré que les vibrions sont toujours tués par le chlorure de chaux à 1 : 5000, même en prenant pour l'examen des échantillons d'un litre. Les mêmes résultats ont été obtenus avec du chlorure de chaux à 1 : 10000 et 1 : 20000. A la dose de 1 : 50000 on a trouvé des vibrions vivants deux fois sur 10 échantillons de 1 litre, une fois sur 10 échantillons de 50 centimètres cubes, et l'on n'en a pas trouvé dans 10 échantillons de 1 centimètre cube. Avec le *Bacterium Coli*, *Schwartz* a constaté qu'après action du chlorure de chaux à 1 : 2000 pendant 4 heures, on ne retrouvait plus de coli dans 82,5 pour 100 des échantillons de 1 litre, dans 95 pour 100 des échantillons de 50 centimètres cubes, et dans 100 pour 100 des échantillons de 1 centimètre cube. Il a obtenu d'aussi bons résultats avec le chlorure de chaux à 1 : 10000 et 1 : 20000, en faisant des prises d'échantillons de 1 centimètre cube.

Le tableau suivant indique la diminution du nombre de germes d'eau d'égout renfermant 1 350 000 microbes par centimètre cube, après action du chlorure de chaux pendant 4 heures.

Concentration du chlorure de chaux.	NOMBRE DE GERMES PAR CENTIMÈTRE CUBE	
	dans l'eau brute.	dans l'eau traitée.
1 : 2 000	1 350 000	15
1 : 5 000	»	25
1 : 10 000	»	36
1 : 20 000	»	72
1 : 30 000	»	5 620
1 : 40 000	»	59 000

Tous ces résultats montrent qu'en additionnant l'eau de chlorure de chaux à la concentration de 1 : 5000, on arrive à une désinfection pratiquement satisfaisante.

3° **Désinfection de l'eau avant épuration biologique.** — *Schwartz* a étudié en outre l'épuration des eaux préalablement désinfectées par le chlorure de chaux. Il a constaté que l'eau traitée au préalable, dans les bassins de décantation, par le chlorure de chaux à 1 : 20 000 s'épure parfaitement sur les lits bactériens sans nuire à leur fonctionnement. L'hypochlorite de chaux s'oxyde en effet très rapidement à la surface du lit, de sorte que les parties profondes travaillent sans diminution d'activité.

Il est essentiel de remarquer que la désinfection parfaite de l'eau ne peut s'effectuer que si cette eau ne contient pas de flocons en suspension d'un diamètre supérieur à 1 millimètre, car autrement ces flocons absorbent une partie du désinfectant, et le résultat est alors imparfait.

Dunbar a constaté que les eaux se désinfectent très facilement même au sortir de la fosse septique. Il a vu par exemple qu'une addition de chlorure de chaux à 1 : 10 000 amenait la destruction complète du coli après 3 heures et demie de contact. On peut donc employer après la fosse septique une quantité de chlorure de chaux plus faible que pour le traitement de l'eau brute avant fermentation anaérobie. L'eau ainsi désinfectée est souvent tout à fait stérile, et pourtant elle s'épure très bien sur les lits bactériens où elle retrouve en abondance une flore microbienne appropriée.

Pour combattre les mauvaises odeurs qui se dégagent des fosses septiques, on a d'abord employé le sulfate de fer avec succès, mais les eaux ainsi traitées restent jaunes et sont difficiles à clarifier. *Dunbar* a obtenu de meilleurs résultats en plaçant au sortir de la fosse septique un filtre de limaille de fer, qui retient l'hydrogène sulfuré, tandis que le sulfure de fer formé reste en grande partie dans la fosse septique. Le chlorure de chaux désodorise aussi parfaitement les eaux, tout en détruisant les microbes.

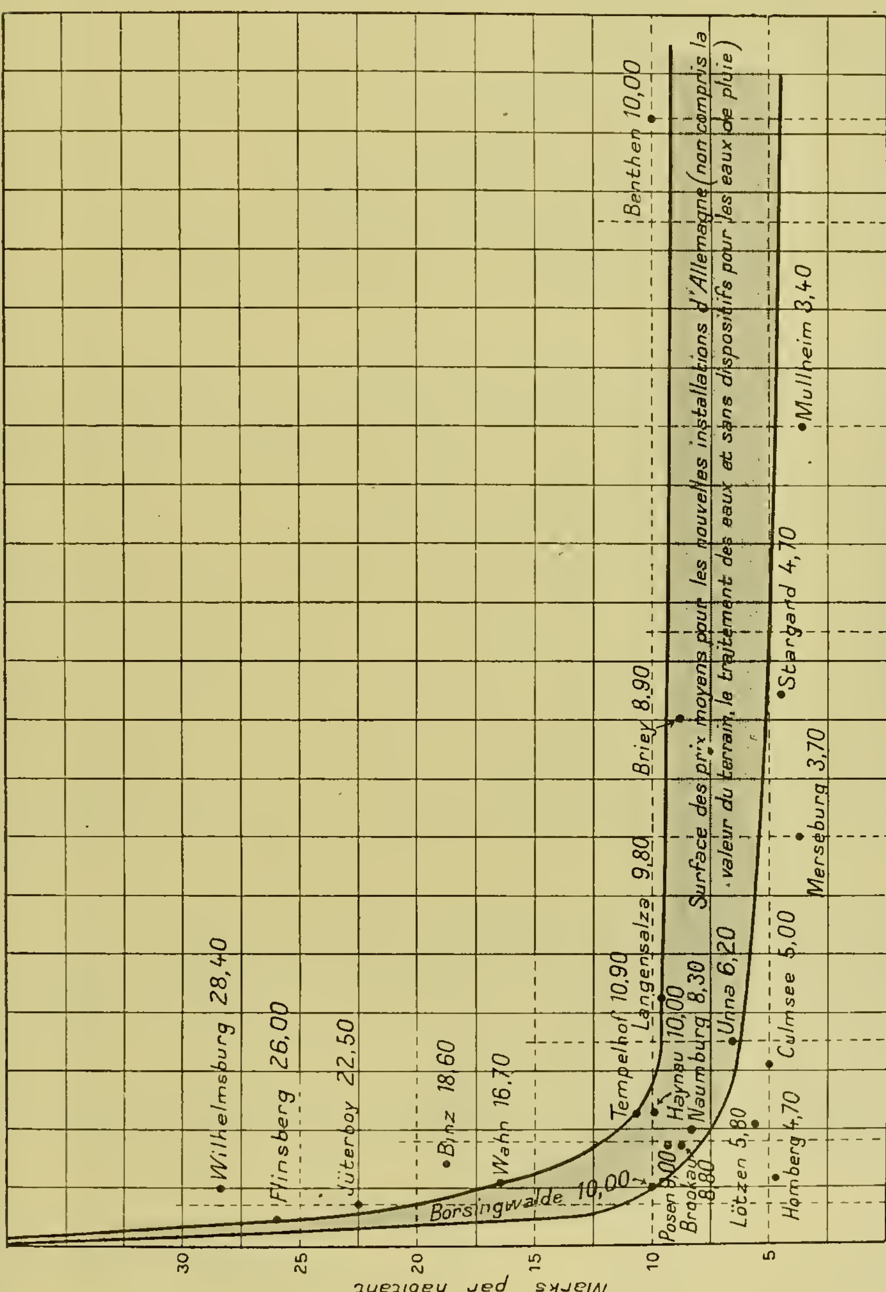
CHAPITRE XIV

PRIX DE REVIENT DES INSTALLATIONS BIOLOGIQUES

Le graphique n° 14 ci-après indique, d'après *Imhoff*, les frais de construction des installations biologiques récentes en Allemagne, non compris l'achat du terrain et les dispositifs pour le traitement de l'eau après épuration ou pour le traitement des eaux de pluie. Les frais d'achat du terrain n'ont pas entré en ligne de compte, car ils sont trop variables. En moyenne ils s'élèvent à 10 pour 100 des frais de construction. Pour les petites installations, les frais par tête d'habitant sont très élevés et peuvent monter à 175 marks par tête, tandis que pour *Mullheim* (40000 habitants) les frais se sont élevés à $5^{mk},40$ par tête. Le tableau montre que pour les villes de 10000 à 60000 habitants, les frais varient de 4 à 10 marks par tête. On voit en outre que les frais d'installation s'élèvent rapidement quand le nombre des habitants est inférieur à 10000, et diminue au contraire très lentement entre 10000 et 50000 habitants. Quand aux frais d'exploitation, ils s'élèvent, d'après *Imhoff*, de $0^{mk},50$ à $0^{mk},60$ par tête d'habitant et par an, pour les villes de 10000 à 50000 habitants. Ils peuvent être beaucoup plus élevés et atteindre 4 marks par tête et par an dans les petites installations. Si l'on rapporte ces frais d'exploitation au mètre cube d'eau traitée, on arrive à un chiffre qui oscille entre $0^{pf}9$ et 25 pfennigs. La valeur moyenne de ce chiffre pour les villes dont la consommation d'eau oscille entre 40 et 80 litres par tête paraît être de 2 à 5 pfennigs par mètre cube.

En ce qui concerne le prix de revient des installations biologiques en Angleterre et en France, nous n'avons rien à changer aux données fournies dans notre deuxième volume (page 61). Mais nous prions le lecteur de se reporter aux

données complémentaires que nous fournissons plus loin sur cet important sujet à propos de l'installation toute récente de



Graphique n° 14. — Frais de construction des installations d'épuration biologique en Allemagne pour les villes de 1000 à 60000 habitants (non compris le terrain). (D'après Imhoff.)

Birmingham, laquelle est la plus parfaite de toutes celles qu'on peut voir fonctionner actuellement en Europe.

CHAPITRE XV

ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT CHARGÉES D'UN EXCÈS DE MATIÈRES GRASSES STATION EXPÉRIMENTALE DE ROUBAIX-TOURCOING

Sur la demande de M. le Dr *Dron*, député et maire de *Tourcoing*, nous avons installé, à l'occasion du *Congrès d'hygiène sociale* qui s'est réuni dans cette ville en septembre 1906, une station d'expériences que nous avons décrite dans le volume II de ces Recherches (pages 185 et suivantes).

Cette station était disposée pour étudier parallèlement l'épuration biologique sur les eaux d'égout non mélangées d'eaux de peignage de laines et l'épuration chimique sur les eaux résiduaires des usines de peignage, recueillies à part.

On sait que le problème de l'épuration des eaux d'égout est rendu particulièrement difficile à résoudre lorsque, comme c'est le cas de *Roubaix-Tourcoing*, ces eaux renferment une quantité considérable de graisses provenant du traitement industriel des laines.

La seule solution rationnelle qui s'imposera tôt ou tard aux villes dont il s'agit consiste à recueillir les eaux de peignage dans une canalisation séparée (1), à les conduire à une usine

(1) Voici la composition moyenne des eaux résiduaires de peignages de laines, à Tourcoing, avant et après précipitation par l'eau de chaux :

	EAU DE PEIGNAGE (milligr. par litre).	
	Avant précipitation.	Après précipitation par l'eau de chaux.
Extrait sec	8.450	4,300
Résidu fixe	5,225	2.485
Perte par calcination au rouge.	5.225	1,815
Couleur	brunâtre	jaune pâle
Odeur	très forte	faible
Réaction	acide	très alcaline
Ammoniaque	61	22

d'épuration chimique dont l'effluent, après une séparation des graisses et des dépôts, serait ensuite rejeté dans l'égout collecteur des eaux-vannes urbaines.

Ces dernières, ne contenant dès lors plus que les graisses ménagères, présenteraient une composition à peu près identique à celle des localités de même importance, et l'on n'éprouverait aucune difficulté à les épurer par les procédés biologiques usuels.

Non seulement cette solution est la seule qui, en l'état actuel de nos connaissances, permette d'éviter l'extrême pollution de l'*Espierre*, mais elle est certainement la plus économique, puisque le traitement chimique, toujours très onéreux, ne porterait plus que sur un volume de 15 000 mètres cubes par jour au maximum, alors que le débit total de l'égout unique est de 60 000 mètres cubes en moyenne.

On peut ajouter qu'elle est également la plus équitable, car il est logique d'admettre que les 200 000 habitants des deux villes ne doivent pas payer les frais d'épuration des eaux résiduaires de quelques usines, alors que cette épuration entraîne des frais particulièrement élevés. Il serait juste que la population entière supporte la part de dépenses qui résulte du traitement des eaux-vannes communes, et que les industriels prissent à leur charge celle qu'entraîne la séparation chimique des graisses et des boues de nature spéciale que les usines évacuent actuellement à l'égout unique, interurbain.

Il est, d'ailleurs, très probable que la précipitation chimique ne portant que sur un volume d'eaux résiduaires relativement restreint (15 000 mètres cubes par jour au maximum) et extrêmement riche en suint de mouton, permettrait de récupérer sous forme de graisses commercialement utilisables (au moins comme combustible), une proportion importante de matières

Azote organique	155	82
Matières grasses	1 950	0
— en suspension totale.	3 323	91
— organiques	1 504	32
— minérales.	1 819	59

Les matières en suspension contiennent :

Matières grasses.	17,6 0/0
Azote.	2,0 0/0

grasses. La valeur de celles-ci venant en déduction des frais de traitement rendrait l'épuration moins onéreuse.

Au cours d'un récent voyage d'études en Allemagne, nous avons eu l'occasion de voir appliquer à *Koepenick*, près de *Berlin*, un procédé mécanique et chimique de séparation et d'utilisation des boues qui nous a paru susceptible de rendre de grands services dans le cas dont il s'agit. Nous estimons qu'il y aurait lieu d'en faire l'essai en variant au besoin la nature des réactifs employés.

Nous reproduisons ci-après les notes que nous avons rapportées à son sujet.

I. — Traitement des eaux d'égout à Koepenick, près Berlin. Utilisation des boues, non desséchées, à la production d'énergie électrique. — La ville de *Kœpenick*, pour une population de 30000 habitants, doit rejeter en moyenne par jour à la Sprée environ 4000 mètres cubes d'eaux d'égout, composées en majeure partie d'eaux ménagères contenant une proportion notable de matières grasses.

L'épuration de ces eaux est obtenue par traitement chimique, au moyen de lignite et de sulfate d'alumine. Les eaux sont d'abord additionnées de 900 grammes de lignite en poudre grossière par mètre cube, puis d'une solution concentrée de sulfate d'alumine à la dose de 200 grammes de sel par mètre cube. Le mélange est rendu intime par un courant rapide au travers d'un grand nombre de chicanes.

Les eaux traitées se rendent dans un bassin simplement creusé dans le sol, sans maçonnerie ni bétonnage, de 190 mètres de long sur 65 mètres de large et d'une profondeur de $0^m,80$ à $0^m,90$, ayant ainsi une superficie de 12350 mètres carrés et une capacité de 10 à 11 000 mètres cubes. Il faut environ 3 jours pour remplir un bassin qui reste en fonctionnement pendant un mois. Au bout de ce temps, la capacité volumétrique du bassin étant trop réduite par suite de l'accumulation des boues qui s'y est effectuée, l'eau traitée est dirigée dans un autre bassin, puis après un mois dans un troisième bassin. Pendant les intervalles de fonctionnement, les boues sont égouttées puis transportées dans un hangar où elles se dessèchent en partie. Au bout de 3 semaines envi-

ron, elles ne contiennent plus que 60 pour 100 d'eau. On y ajoute alors un cinquième de leur poids en charbon. En cet état, elles servent de combustible à une usine électrique qui fournit l'élairage et la force motrice aux tramways et aux industries.

On peut admettre qu'un mètre cube d'eau d'égout donne environ 5 kilogrammes de boues à 60 pour 100 d'eau, soit environ 400 tonnes par mois.

Bien que les prix de vente de l'électricité soient assez réduits (0 fr. 50 le kilowatt-heure pour l'éclairage et 0 fr. 175 le kilowatt-heure pour la force motrice), l'exploitation semble devoir donner de bons résultats financiers.

Nous ne pensons pas qu'on puisse s'attendre à obtenir des bénéfices, car la quantité de matières combustibles retirées des eaux d'égout est relativement très faible et il semble que c'est seulement la proportion considérable de charbon ajoutée qui permet le fonctionnement de l'exploitation.

Cependant nous croyons que cette méthode de traitement serait à retenir pour l'employer dans certains cas où elle pourrait être avantageuse.

*
* *

Certaines villes industrielles, dans lesquelles le travail de la laine est très développé, doivent évacuer des volumes parfois énormes d'eaux contenant une si forte proportion de matières grasses qu'elles ne peuvent être traitées par les procédés biologiques. Ainsi les eaux d'égout de *Bradford* (*Angleterre*) contiennent 630 grammes de matières grasses par mètre cube; les eaux de l'*Espierre* (*Roubaix-Tourcoing*) de 500 à 1000 grammes; il en est de même pour les eaux de *Verviers* (*Belgique*).

De très nombreux procédés ont été proposés pour l'épuration de ces eaux grasses (procédés chimiques basés sur l'emploi de réactifs précipitants), mais ils produisent des quantités considérables de boues inutilisables comme engrais. On a bien essayé d'en retirer les graisses, mais les modes opératoires proposés n'ont jamais donné les résultats qu'on espérait.

La méthode la plus rationnelle d'utilisation de ces boues semble être la combustion. En effet, desséchées convenable-

ment, elles peuvent contenir près de la moitié de leur poids en matières grasses éminemment combustibles. Des essais entrepris pour l'*Espierre*, dans ce sens, par M. *Bienvaux*, ingénieur des Ponts et Chaussées, et continuées par son successeur, M. *Grimprez*, à l'usine de *Grimonpont* et à la station expérimentale de *Tourcoing*, ont donné d'excellents résultats.

La précipitation des eaux de l'*Espierre*, et même des eaux de peignage seules, par l'eau de chaux, permet d'obtenir un effluent limpide ne contenant pas de matières en suspension, pourvu que l'eau de chaux ajoutée soit en proportion convenable et que le mélange soit intime, ce qui est obtenu à *Tourcoing* par un cheminement très long de l'eau avant son entrée dans le bassin de décantation. Nous croyons que l'addition d'une certaine quantité de tourbe ou de lignite comme à *Koepenick*, ou encore de charbon maigre en poussière, favoriserait la décantation et produirait une rapide décoloration de l'eau. Pour rendre transportables les boues obtenues par précipitation par la chaux seule, on a généralement fait usage de filtres-presses dont l'emploi est très coûteux par suite de l'usure rapide des toiles; la précipitation avec addition de charbon a l'avantage de donner des boues qui s'égouttent plus facilement et n'exigent pas d'être filtrées. Des essais sur de grands volumes pourraient seuls fixer les avantages de cette technique sur laquelle nous croyons devoir appeler l'attention des ingénieurs et des municipalités des villes intéressées.

II. **Séparation des graisses.** — A *Yorkshire* (*Angleterre*), les eaux de lavage des laines sont d'abord concentrées par évaporation, puis traitées par des appareils centrifuges qui agissent comme les écrémeuses sur le lait. On obtient ainsi trois couches : une de boues, qui n'est pas utilisée; une solution concentrée de savon de potasse qui est calcinée et transformée en carbonate de potasse; enfin une couche de *lanoline* brute, marchande.

Ces méthodes ne sont évidemment pas applicables aux villes dont les eaux ne renferment qu'une quantité faible de matières grasses, mais elles présentent un grand intérêt pour

celles, comme *Roubaix-Tourcoing*, *Fourmies* en *France*, *Verviers* en *Belgique*, *Bradford* en *Angleterre*, etc..., où il existe un grand nombre d'usines où l'on traite les laines.

La Société pour l'utilisation des résidus des villes à *Francfort-sur-le-Mein* (*Frankfürter Gesellschaft für Verwertung städtischer Abfälle*) a imaginé pour la séparation des graisses un appareil absolument analogue à l'appareil *Kremer* que nous avons décrit en détail dans notre volume II, page 199, et qui est aujourd'hui employé avec avantage par plusieurs stations d'épuration urbaines (*Manchester* entre autres), ainsi que par beaucoup de blanchisseries privées.

III. **Transformation des graisses contenues dans les eaux-vannes traitées par l'épuration biologique.** — Nous avons vu précédemment que, à la *Madeleine*, la plus grande partie des graisses provenant des eaux ménagères vient flotter à la surface des fosses septiques où elle forme, avec d'autres corps légers en suspension (liège, crottins, etc...) une sorte de chapeau feutré plus ou moins épais. La proportion de graisses solubles dans l'éther oscillle dans cette couche flottante de 16,12 à 27,58 pour 100 (poids à l'état sec). Dans les boues déposées au fond de ces mêmes fosses septiques on en retrouve de 5,18 à 7,55 pour 100.

Ces graisses, pour la plupart d'origine animale, ne sont pas un obstacle à l'épuration biologique lorsque leur proportion n'est pas exagérée, ce qui est le cas général dans les villes. L'eau d'égout de *Berlin* par exemple n'en véhicule guère que 55^{mgr},7 par litre, d'après *Rubner*, et l'on admet que chaque habitant en évacue en moyenne 20 grammes par tête et par jour. Elles sont émulsionnées en fines particules dans le liquide qui renferme en outre des savons et des acides gras.

On ne connaît pas encore bien les transformations qu'elles subissent sous l'influence des fermentations anaérobies et aérobies. D'après *Rideal*, l'ammoniaque qui se forme en abondance dans les fosses septiques favoriserait leur émulsion, et *Bechhold*[1] a constaté que les microorganismes les détrui-

[1] *Zeitsch. f. Angew. Chemie*, 1899, p. 1849.

sent dans les boues de sédimentation putréfiées, surtout à l'abri de la lumière. Les moisissures qui se développent très activement sur le chapeau des fosses contribuent aussi dans une large mesure à les décomposer.

Aux dépens de la graisse, il se forme de la glycérine et des acides gras. La glycérine, soluble dans l'eau, sert d'aliment aux microbes et les acides gras se combinent en partie aux alcalis libres pour former des savons qui sont décomposés à leur tour.

J. Lacomble(1) a cherché à déterminer le sort des graisses sur les supports d'oxydation. Il est arrivé à conclure que leur désintégration s'effectue à peu près complètement sous l'influence des actions microbiennes, à moins qu'elles ne soient trop abondantes, auquel cas leur arrêt mécanique dans les pores des matériaux amène un rapide colmatage des lits bactériens. D'où la nécessité de les séparer autant que possible avant l'entrée des eaux d'égout en fosses septiques par des procédés mécaniques ou par l'emploi de l'appareil *Kremer*.

IV. **Essais d'épuration biologique des eaux d'égout de Roubaix-Tourcoing, non mélangées d'eaux de peignage des laines.** — Depuis le mois de septembre 1906, nos essais d'épuration biologique des eaux d'égout de *Roubaix-Tourcoing*, non mélangées d'eaux de peignage de laines, ont été poursuivis sans interruption, sauf pendant quelques arrêts nécessités par le remplacement des briques creuses employées à la répartition de l'eau à la surface du lit bactérien percolateur. A ces briques creuses nous avons substitué des drains en terre cuite pour les raisons que nous avons exposées plus haut à propos de nos expériences de la *Madeleine*.

Pour suivre les résultats de l'épuration, nous avons fait prélever, à des périodes variables, des échantillons moyens d'eau brute, d'eau sortant de la fosse septique et d'eau épurée.

L'égout qui dessert notre station expérimentale, et qui a été dérivé spécialement pour nos essais, reçoit à la fois les eaux ménagères et industrielles d'un quartier de *Tourcoing*. Les eaux industrielles y prédominent et leur débit est extrême-

(1) *Revue d'hygiène et de police sanitaire*, 1906, p. 817.

VILLES DE ROUBAIX-TOURCOING

Essais d'épuration biologique d'eaux d'égout non mélangées d'eaux de peignage de laines

(Résultats en milligrammes par litre)

DATES DES PÉRIODES D'ANALYSES	NATURE DE L'ÉCHANTILLON	OXYGÈNE ABSORBÉ			MATIÈRES ORGANIQUES DOSAGE AU PERMANGANATE EN OXYGÈNE		AMMONIAQUE EN AzH^3	AZOTE ORGANIQUE EN Az	NITRATES EN Az^2O^5	NITRITES EN Az^2O^3
		En 5 minutes	En 5 minutes après incubation	En 4 heures	EN SOLUTION ACIDE	EN SOLUTION ALCALINE				
1905										
Novembre-décembre	Eau brute.	»	47,9	»	95	158	8,5	15,9	traces	0
	Effluent de la fosse septique.	»	48,5	»	91	88	9,5	9,6	0	0
	Effluent du lit à percolation.	2,4	8,4	5,5	25,6	27	5,2	5,8	8	1.6
1907										
Juin.	Eau brute.	»	25,6	»	95	82,6	7,5	7,6	0	0
	Effluent de la fosse septique.	»	29,8	»	84	60	15,5	4,5	0	0
	Effluent du lit à percolation.	2,0	6	1.4	16,4	15,2	1,2	5,1	9	2,1
Juillet.	Eau brute.	»	54,9	»	118	89,1	8,2	8,2	0	0
	Effluent de la fosse septique.	»	32,7	»	67	52	10,4	6,8	0	0
	Effluent du lit à percolation.	2,4	6,8	2,5	16,4	15,6	0,6	4,4	9,5	0,9
Août	Eau brute.	»	45,1	»	104	75,5	11,8	8,4	0	0
	Effluent de la fosse septique.	»	38,2	»	65,5	56,5	17,5	6.5	0	0
	Effluent du lit à percolation.	2,4	6,5	2,5	15,5	15,9	1,0	5,9	19,0	1,8

ment variable, presque nul le dimanche et le lundi, souvent excessif les autres jours. Aussi avons-nous choisi pour les périodes d'analyses les échantillons prélevés les mardi, mercredi et jeudi, de façon à connaître les résultats obtenus pendant le régime le plus chargé. Ces analyses en série ont été répétées deux fois par mois en novembre et décembre 1906 et en juin, juillet et août 1907.

Le tableau ci-après indique les moyennes de nos analyses pour chacun de ces mois.

Les résultats sont satisfaisants. L'eau épurée est incolore, inodore et imputrescible. L'ammoniaque disparaît presque complètement et les nitrates se forment en quantité suffisante, mais pourtant plus faible qu'à la *Madeleine*. Cela tient à la grande proportion de matières organiques *non azotées* (provenant de diverses industries) que ces eaux contiennent. Or nous savons que ces composés favorisent la multiplication des ferments dénitrifiants qui détruisent une partie des nitrates formés.

On peut conclure de ces expériences que le procédé d'épuration par fosse septique et lits bactériens percolateurs est parfaitement applicable au traitement des eaux d'égout de *Tourcoing, non mélangées d'eaux de peignage des laines.*

CHAPITRE XVI

ÉPURATION DES EAUX-VANNES DES HABITATIONS ISOLÉES. — FOSSES SEPTIQUES DE DIVERS SYSTÈMES. — TRANSFORMATEURS. — PUITS PERDUS.

La question de l'épuration des eaux-vannes ménagères et des matières de vidange pour les habitations privées ou pour les établissements collectifs (collèges, casernes, prisons, hôpitaux), isolés ou trop éloignés d'un réseau d'égout, continue à préoccuper avec juste raison les architectes et les ingénieurs sanitaires.

Les solutions qui ont été proposées jusqu'à ces derniers temps étaient pour la plupart défectueuses. Plusieurs constructeurs ont imaginé des appareils soi-disant *épurateurs* et qui n'étaient que des fosses septiques plus ou moins compliquées, réalisant généralement assez bien la première phase de l'épuration biologique, c'est-à-dire la dissolution des matières solides entraînées par les eaux-vannes, mais n'effectuant à aucun degré l'oxydation ou la minéralisation de ces matières dissoutes, c'est-à-dire l'épuration proprement dite.

Un trop grand nombre de municipalités et de particuliers ont été trompés par les annonces de ces constructeurs. Les propriétaires d'immeubles, dans certaines grandes villes, grâce aux appareils dont il s'agit et aux promesses qu'on leur faisait, ont cru pouvoir s'affranchir de l'obligation d'installer chez eux le tout-à-l'égout. L'adoption des fosses septiques est devenue pour eux un moyen de résister aux injonctions de la loi ou des arrêtés municipaux. Il en est résulté de sérieux dommages pour la santé publique, et beaucoup de gens, mal informés, ont attribué au système d'épuration biologique en général l'échec que sa mauvaise application réalisée chez eux leur avait fait éprouver.

C'est ainsi que l'on compte actuellement en France plus de deux mille installations de fosses septiques assurément incapables de donner satisfaction à ceux qui les ont fait construire. On les a adaptées inconsidérément à l'épuration des eaux-vannes ménagères, à celles des eaux résiduaires d'abattoirs, quelquefois même au traitement des matières de vidange brutes, transportées en tonneaux! C'était méconnaître les conditions mêmes du travail biologique des microbes nitrificateurs. C'était compromettre en outre gravement la bonne renommée d'un système qui repose sur des principes scientifiques parfaitement établis et qui a fait ses preuves d'efficacité partout où ces principes sont rigoureusement appliqués.

Les administrations sanitaires et les conseils d'hygiène se sont émus d'un tel état de choses. Il a fallu reconnaître la nécessité de réglementer l'emploi et de surveiller le fonctionnement des fosses septiques, ainsi que celui des appareils qui en dérivent. Le département de la Seine a donné l'exemple, et nous verrons tout à l'heure qu'il a dû interdire le déversement dans les égouts de tous les effluents de fosses septiques *non préalablement épurés, soit sur des lits bactériens, soit sur des champs d'épandage.*

Il importe donc que chacun soit éclairé sur les résultats que l'on peut attendre des principaux types d'appareils épurateurs domestiques actuellement connus. Les pages qui suivent fourniront à cet égard les indications indispensables et permettront aux intéressés soit de corriger les défectuosités des systèmes qu'ils préconisent, soit d'adopter, suivant les circonstances locales, celui de ces systèmes qui leur paraîtra correspondre le mieux à leurs besoins.

Disons tout de suite qu'en aucun cas on ne devra compter sur l'épuration biologique pour *stériliser* les eaux d'égout. Celles-ci, après épuration, contiennent toujours un grand nombre de microbes qui appartiennent à des espèces inoffensives, lesquelles remplissent précisément un rôle capital dans la désintégration des matières organiques. Parmi ces microbes, si les matières à épurer proviennent d'hôpitaux pour contagieux par exemple, il peut s'en trouver de *pathogènes*, dont il est alors indispensable d'éviter la dissémination.

Il faudra les supprimer dans l'effluent des appareils d'épuration. On y parviendra sans difficultés en retenant cet effluent pendant environ deux heures dans un bassin où l'eau sera mélangée à une petite quantité de réactifs antiseptiques. Le meilleur réactif à employer, ainsi que nous l'avons déjà dit, est le chlorure de chaux du commerce (voir *chap.* XIII) ou encore les permanganates de chaux ou de soude. On peut utiliser aussi l'eau de Javel, suivant les indications fournies par M. *Grimbert*, qui a fait appliquer en grand ce procédé à la désinfection des matières de vidange liquides de *l'hôpital Claude-Bernard*, à *Paris*.

L'eau de Javel concentrée à 30° chlorométriques, c'est-à-dire dégageant 30 litres de chlore par kilogramme, à la dose de 1 millième en milieu légèrement acidulé par une petite quantité d'acide chlorhydrique (1 demi-millième), suffit à détruire en 6 heures les microbes pathogènes, non sporulés, en particulier le *bacille typhique*, dans les déjections convenablement brassées.

Le prix moyen de l'eau de Javel étant de 0 fr. 40 le litre et celui de l'acide chlorhydrique de 0 fr. 10, la stérilisation d'un mètre cube de liquide revient donc à 0 fr. 50.

C'est une dépense beaucoup trop élevée pour qu'on puisse songer à réaliser la destruction totale et d'ailleurs inutile des germes qui se trouvent dans l'effluent des installations d'épuration biologique urbaines; mais elle n'a rien d'exagéré lorsqu'il s'agit de rendre inoffensives les eaux résiduaires d'un hôpital ou d'un établissement d'équarrissage, auquel il doit être strictement interdit d'épandre sur le sol ou de déverser dans des cours d'eau aucun liquide susceptible de disséminer des germes infectieux.

1. — **Fosse septique de Bezault** (Société française d'épuration et d'assainissement, 28, rue de Châteaudun, Paris). — La *Fosse septique* de Bezault, déjà décrite dans notre deuxième volume, p. 67 et *fig.* 12, n'est autre chose que l'exacte reproduction de l'ancienne fosse *Mouras*, avec la simple addition d'une chicane ou cloison incomplète, ayant pour but de briser le courant et d'empêcher l'évacuation au dehors des matières solides ayant plus de 25 millimètres de diamètre. Elle a été

récemment soumise à l'examen du Conseil d'hygiène publique et de salubrité du département de la Seine.

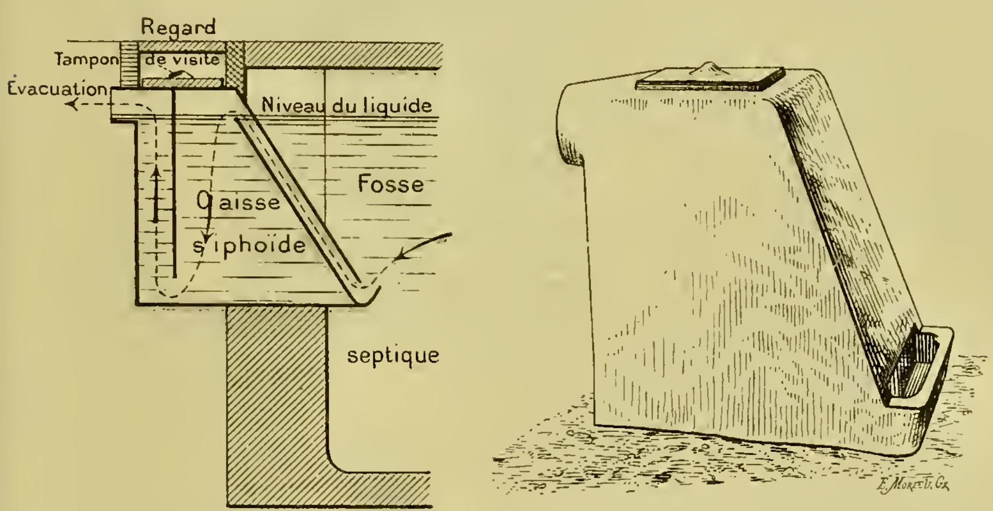
Le 8 mars 1907, la commission nommée par ce Conseil a visité à l'hospice *du Cayla*, à *Bécon-les-Bruyères*, une fosse de ce système. L'odeur qu'elle dégageait lorsqu'on l'eut ouverte était assez forte. Des prélèvements de son contenu furent effectués les 8 mars et 18 avril. Les résultats des analyses chimiques et bactériologiques sont résumés dans le tableau suivant. Le liquide prélevé dans le deuxième compartiment, à 60 centimètres au-dessous de la surface, était noirâtre, très trouble, et exhalait l'odeur de l'hydrogène sulfuré.

	ANALYSE DES PRÉLÈVEMENTS (milligr. par litre)	
	du 8 mars 1907.	du 18 avril 1907.
Azote total	171,4	145,4
— ammoniacal	155,0	139,0
— nitrique	»	1,1
Matière organique (en oxygène emprunté au permanganate, en solution alcaline)	57,0	61,0
Chlore	95,0	105,0
Résidu sec à 180°	602,0	551,0
Résidu fixe après calcination au rouge sombre	420,0	386,0
Bactéries par cent. cube	9 100 000	27 900 000
Bacterium coli, par cent. cube	1 000	1 000

Il n'y a donc, dans la fosse dont il s'agit, aucune destruction de la matière organique, contrairement à ce qu'indiquent les prospectus du constructeur. Aussi, le Conseil d'hygiène publique du département de la Seine, sur le rapport présenté par le Dr *Laveran*, au nom de la Commission, a-t-il conclu que le déversement des liquides sortis de ces fosses, soit dans des puisards absorbants, soit dans des égouts, devait être *interdit*, et que, dans le périmètre du département de la Seine, jusqu'à l'installation du tout à l'égout, on pouvait tolérer les appareils de ce genre *à la condition que les liquides en provenant soient conduits par des tuyaux étanches sur des terrains d'épandage ou sur des lits bactériens d'oxydation acceptés par l'administration et placés sous sa surveillance* [1].

[1] Compte-rendu des séances du Conseil d'hygiène publique et de salubrité du département de la Seine, 2 août 1907.

II. — **Fosse septique à caisse siphoïde de V. Devrez.** — M. *V. Devrez*, ingénieur à *Seignelay* (*Yonne*), s'est proposé de supprimer les cloisons qui, dans les fosses septiques, sont destinées à faciliter les dépôts de matières en suspension et les fermentations microbiennes. Ces cloisons perforées ont l'inconvénient de nécessiter trop souvent le dragage ou le curage des fosses. Il les remplace par l'adjonction d'une *caisse siphoïde* en ciment armé et qui représente une cloison reportée à l'extérieur (*fig.* 6). On peut ainsi, en cas d'engorgement,



Coupe schématique.

Vue de la caisse siphoïde en ciment armé de *Métal déployé*.

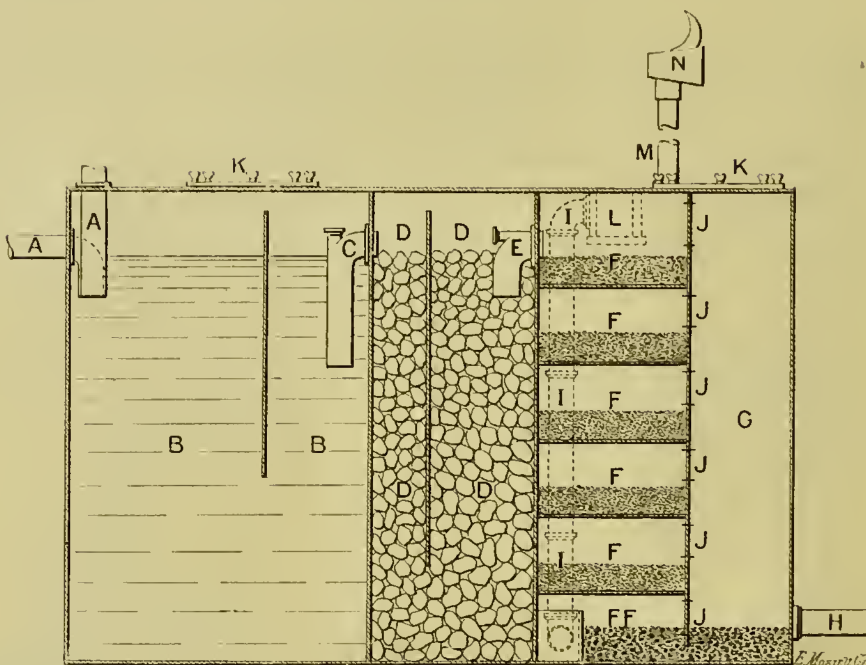
Fig. 6. — Caisse siphoïde de V. Dewez.

désobstruer la sortie de la fosse à l'aide d'un simple crochet flexible. D'autre part, le double siphon d'entrée et de sortie de ladite caisse assure complètement le maintien dans la fosse des matières qui doivent y séjourner vingt-quatre heures, pour subir la transformation septique. Les dimensions de cette caisse varient suivant l'importance de la fosse.

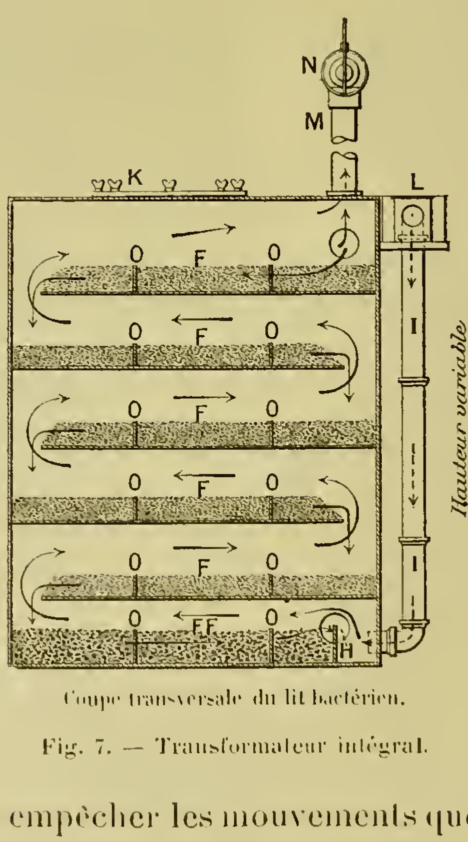
III. — **Transformateur intégral.** — L'appareil dit *Transformateur intégral*, imaginé par M. *Bordigoni*, comprend trois parties :

1° Une fosse septique B (*fig.* 7) où arrivent les matières excrémentitielles et les eaux ménagères par les tuyaux de chute A plongeant dans la masse. Cette fosse, pourvue d'une chicane de surface destinée à retenir les corps flottants, est

reliée avec le compartiment D par un conduit C muni d'un



Coupe longitudinale.



Coupe transversale du lit bactérien.

Fig. 7. — Transformateur intégral.

orifice destiné à empêcher les mouvements que pourrait déter-

miner la pression des gaz. Ce conduit plonge également dans le liquide, d'environ 0m,60, pour empêcher le passage des matières solides en D.

Un trou d'homme est ménagé sur le plafond de la fosse septique pour permettre les nettoyages.

2° La fosse médiane D, divisée comme la première par une cloison incomplète, est entièrement garnie de morceaux de calcaire de la grosseur d'un œuf de pigeon. Le liquide que déverse C la remplit complètement, chemine à travers le calcaire jusque sous la cloison et ressort en E, pour se répandre en cascade sur les lits bactériens.

3° Ceux-ci sont au nombre de 3 à 6 dans le dernier compartiment G. Ils sont formés par une série de lames de ciment armé, disposées en chicanes et recouvertes de quelques centimètres d'un mélange de calcaire avec des scories et un peu de terreau (F,F,F).

Ces lits sont en pente légère, de telle sorte que l'eau, arrivant par E sur le premier, s'écoule lentement sur le second, puis sur le troisième, etc..., à travers les matériaux, sans que ceux-ci soient submergés. Au sortir du dernier lit elle s'échappe en H.

L'alimentation des lits se fait au fur et à mesure que surviennent en A de nouvelles chasses. Leur aération est assurée par une ventouse L munie d'un tuyau de communication I qui débouche sur le dernier lit. On lui donne une hauteur convenable pour qu'il y ait appel d'air extérieur en sens inverse du cheminement du liquide.

Les appareils étant généralement enchâssés dans le sol, on ménage une chambre de visite G fermée par un tampon, qui permet l'accès à chaque lit.

Une Commission spéciale du Conseil d'hygiène du département de la Seine a visité, le 13 décembre 1906, un *Transformateur intégral* installé depuis un an à l'hôpital de *Saint-Germain-en-Laye* et dont la fosse septique, de la contenance de 42 mètres cubes, était alimentée par trois cabinets d'aisances fréquentés par quarante malades environ. Cette fosse recevait en outre des eaux de lavage, mais pas d'eaux pluviales.

Une prise de liquide fut effectuée à l'effluent des lits bacté-

riens. Le 27 décembre on fit d'autres prélèvements de ce même effluent et du liquide de la fosse septique.

Le tableau suivant résume les résultats des analyses, d'après le rapport de M. le Dr *A. Laveran* :

	ANALYSE DES LIQUIDES (milligr. par litre)		
	15 déc. 1906 à la sortie des lits bactériens	27 déc. 1906 à la sortie de la fosse septique	27 déc. 1906 à la sortie des lits bactériens
Azote total	480,5	226,1	250,2
— ammoniacal	470,0	218,5	225,6
— organique (Kjeldahl)	14,1	4,7	2,4
— nitrique	»	4,4	1,9
Matière organique (oxygène emprunté au permanganate en solution alcaline)	17,0	98,0	55,0
Résidu sec à 180°	1 545,0	850,0	857,0
Résidu fixe après calcination au rouge	790,0	595,0	690,0
Bactéries par c. cube	450 000	8 000 000	15 500 000
Bacterium coli par c. c.	10 000	1 000	1 000

Ces résultats montrent qu'il n'y a aucune épuration réalisée dans l'appareil. L'azote albuminoïde s'y transforme en grande partie, comme dans toutes les fosses septiques, en azote ammoniacal, mais celui-ci ne se minéralise pas. Donc l'oxydation est à peu près nulle.

D'autres appareils du même système ont été étudiés en Belgique par le Dr *M. Henseval*, directeur du laboratoire d'hygiène du Ministère de l'Agriculture. Leurs effluents analysés étaient aussi défectueux. On n'y trouvait ni nitrites, ni nitrates et, par contre, ils renfermaient en abondance des matières en suspension.

Aussi la conclusion du Conseil supérieur d'hygiène de *Bruxelles* fût-elle que « le *Transformateur intégral* ne fonctionne pas avec la régularité nécessaire et que les processus d'oxydation sont loin d'atteindre le degré voulu. » Et son rapporteur (M. *F. Putzeys*) ajoute :

« Il serait regrettable d'encourager, et même d'autoriser l'emploi, dans les établissements publics, d'un système d'épuration qui ne procure nullement les avantages que son titre

promet. Cette tolérance aurait certainement pour effet de discréditer une méthode qui, dans d'autres mains, a donné d'excellents résultats » [1].

Cet insuccès du *Transformateur intégral* tient d'abord à ce que le dispositif adopté pour les lits bactériens empêche que les matériaux de ces lits soient régulièrement mouillés et aérés dans toute leur masse. Ensuite, les intermittences de mouillage et d'aération n'y étant réglées en aucune manière, la circulation de l'eau s'effectue beaucoup trop vite lorsque les chasses sont fréquentes, de sorte que les phénomènes d'oxydation, alors même que les matériaux seraient convenablement disposés, n'ont pas le temps de s'accomplir.

IV. — **Fosse « Simplex ».** — M. *L. Gaultier*, architecte (67, rue d'Amsterdam, Paris) a construit, sous le nom de *Simplex*, un appareil d'épuration domestique en béton armé, parfaitement étanche et qui mérite d'être signalé.

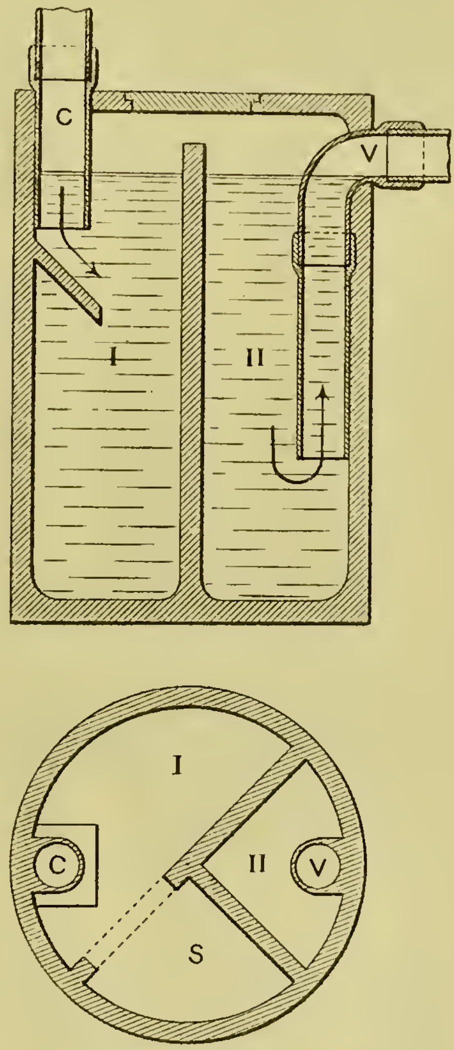


Fig. 8. — Fosse « simplex » de L. Gaultier.

Cet appareil se compose d'une fosse septique cylindrique munie de deux cloisons intérieures de différentes hauteurs, l'une suivant le diamètre, l'autre suivant le rayon (*fig.* 8). L'une de ces cloisons est percée à sa partie inférieure et leur hauteur est calculée d'après le débit. Tout le système peut être placé dans la cave des habitations ou enterré complète-

(1) *Bulletin du service de santé et de l'hygiène*, Bruxelles, juillet-août 1907, p. 575.

ment comme une fosse ordinaire. Un tampon avec joint spécial existe sur le dessus et permet la visite intérieure de la fosse.

Le compartiment I fonctionne comme toutes les fosses septiques et reçoit le tuyau de chute C. Les eaux-vannes débarrassées par fermentation anaérobie de la plus grande partie des matières en suspension passent en S par une ouverture grillagée en bas. De là, lorsque l'appareil étant plein, une chasse se produit, une égale quantité d'eau s'écoule par dessus la cloison dans le compartiment II, et une autre, de même volume, est évacuée par le trop-plein de vidange V sur un puisard de nitrification ou *puits bactérien*.

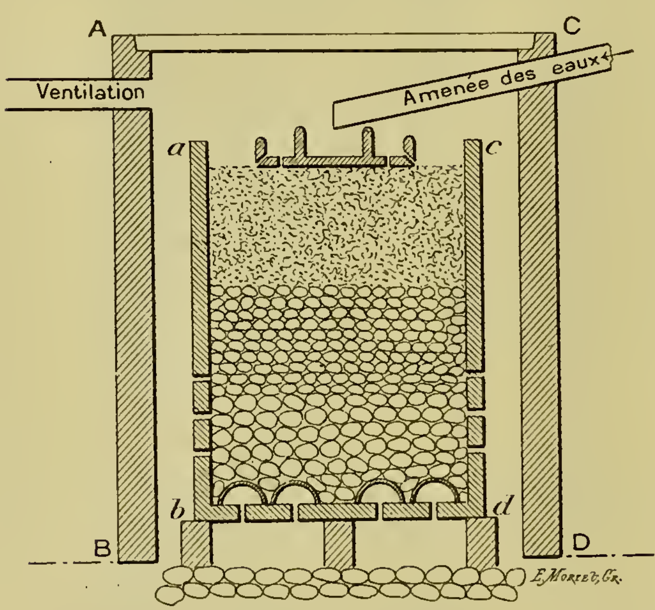


Fig. 9. — Puisard bactérien « simplex » de L. Gaultier.

Voici la description de ce puisard telle que l'auteur l'a publiée dans une note au Congrès national d'hygiène et de salubrité de *Marseille* (octobre 1905) :

On creuse un puits en terre jusqu'à la couche absorbante en y pénétrant comme pour faire un puisard ordinaire, mais au lieu de monter un tube en maçonnerie sèche, nous remplissons ce puits avec du gros mâchefer ou des débris de briques, poteries, meulières, etc., jusqu'à environ 2 mètres du sol.

Dans les deux derniers mètres jusqu'au sol, sur 1 mètre de diamètre, on construit un tube en maçonnerie ou en béton aggloméré. On descend dans ce trou une cuve en ciment armé (ABCD, *fig.* 9) qui n'a qu'une faible épaisseur et 0^{m},80 de diamètre extérieur sur 1 mètre à 1^{m},50 de hauteur. Cette cuve a son fond et toute sa partie inférieure percés de trous. Pour éviter qu'elle repose directement sur la couche de mâchefer.

et afin de permettre à l'air de circuler aussi bien en dessous qu'autour, on la fait reposer sur trois dés en pierre ou en brique (*a*, *b*, *fig.* 9).

On remplit cette cuve de trois couches superposées de mâchefer dont les morceaux vont en diminuant de grosseur de bas en haut; les premiers ayant environ 5 à 6 millimètres de diamètre, les seconds 3 millimètres et ceux du haut de la grosseur du gravier fin. Ces trois couches sont pilonnées légèrement pour rendre la masse plus homogène et pour éviter que l'eau la traverse trop rapidement. A sa surface on pose un petit appareil très simple en fonte, poterie ou ciment, qui a pour but de distribuer d'une façon régulière l'eau sortant de la fosse septique.

Lorsque cette sorte de puisard peut être établi assez loin de l'habitation et entouré de massifs de verdure, on le laisse à l'air libre. Quand le jardin est trop petit, et c'est la majorité des cas dans les banlieues des villes, on le couvre d'un plancher quelconque en ayant soin de le ventiler le mieux possible.

Les liquides fermentés anaérobiquement subissent dans ce puisard bactérien une nitrification qui peut ne pas être complète mais qui s'achèvera ensuite dans le sol perméable sous-jacent. On réduira par suite dans une large mesure les chances de contamination des nappes souterraines.

Aucun hygiéniste ne saurait évidemment souhaiter l'emploi généralisé d'un tel système dans les villes et encore moins dans les agglomérations rurales qui sont obligées d'extraire de leur sous-sol, par des forages ou par des puits, leurs eaux d'alimentation. Mais, dans certains cas, lorsqu'il s'agit de maisons isolées à la campagne, surtout si la nappe aquifère est protégée contre les infiltrations superficielles par une couche imperméable ou par une épaisse couche de sable fin, il peut rendre de réels services en raison de sa simplicité de construction. C'est à ce titre que nous avons cru devoir le faire connaître.

V. — **Puisard absorbant de E.-S. Auscher.** — M. *E.-S. Auscher*, ingénieur sanitaire (24, rue Lafayette, à Versailles) propose d'annexer aux fosses *Mouras* ou autres types de fosses septi-

ques, dans les localités où il n'existe pas d'égout et où l'on est obligé de recourir aux puisards absorbants, un type du puisard représenté dans la figure 10.

Ce dispositif comporte une caisse en tôle perforée MM remplie de scories sur $0^m,50$ environ, de gros sable de rivière ou gravillon sur $0^m,20$; puis encore de scories sur $0^m,80$. Cette caisse, amovible, repose sur un tampon en fonte T qui livre passage par plusieurs ouvertures à l'eau partiellement épurée vers le puisard absorbant creusé en dessous.

La surface du lit bactérien est à découvert en B:

La caisse en tôle n'occupe que la moitié environ du puits P dans lequel l'air circule librement pour permettre aux phénomènes d'oxydation de s'effectuer. Ce puits P est fermé au niveau du sol par des plaques en tôle striée épaisses NN, juxtaposées et laissant entre elles des espaces libres de 0,05.

La distribution de l'effluent de la fosse septique s'effectue, au fur et à mesure que les chasses se produisent, par le canal D, ramifié à son extrémité en trois branches percées de trous et noyées dans la couche de grosses scories à quelques centimètres au-dessous de la surface.

Cet appareil, très simple et peu coûteux, est susceptible de rendre quelques services, surtout pour les habitations isolées à la campagne. Il est assurément loin d'être parfait, mais si l'on veut bien réfléchir à ce fait qu'à l'heure actuelle 85 à 90 pour 100 des détritus ménagers et des matières de vidange, sur l'ensemble du territoire de la France, vont au sous-sol *sans aucune épuration préalable*, la situation sanitaire du pays serait certainement améliorée si l'on ne tolérait les puisards absorbants qu'à la condition qu'ils ne reçoivent que des eaux débarrassées de matières en suspension et au moins partiellement épurées.

VI. — **Appareil sanito-bactérien** (système *G.-A. Lucas*, 15, rue des Frères Herbert, Levallois-Perret). — Cet appareil, construit en un ciment spécial, est divisé en une série de trois compartiments dont la disposition est combinée, d'après l'auteur, de telle sorte que « les deux classes de microbes (anaérobies et aérobies) se trouvent chacune dans les conditions

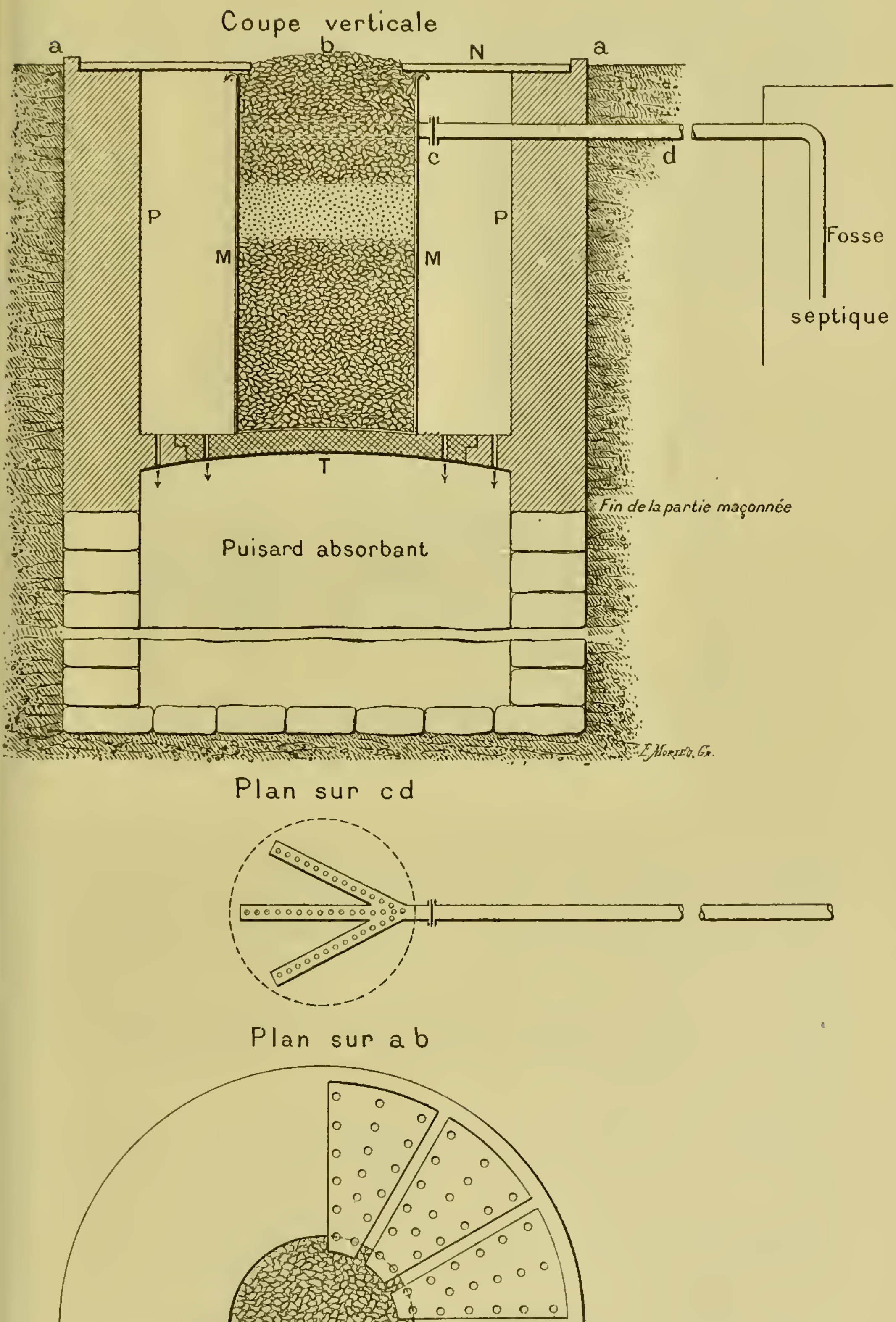


Fig. 10. — Puisard absorbant à aération continue (système E.-S. Auscher).

spéciales les plus favorables à leur activité, aussi bien qu'à leur reproduction, sans se gêner ou se nuire mutuellement ».

Les deux premiers compartiments représentent en réalité deux fosses septiques, communiquant l'une avec l'autre; la première reçoit le tuyau de chute (C *fig.* 11); la seconde est pourvue d'une série de chicanes ou plaques transversales percées de trous alternants (D), dans le but d'empêcher les matières solides d'être entraînées par les remous ou par les dégagements

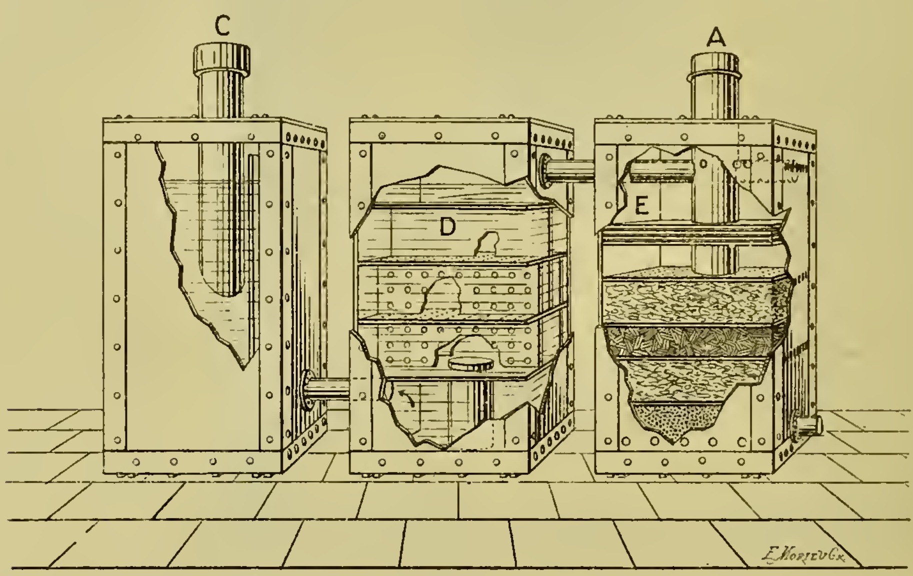


Fig. 11. — Appareil sanito-bactérien (système G.-A. Lucas).

gazeux, sans nuire à la circulation du liquide. Au sortir de la deuxième fosse, celui-ci s'écoule de haut en bas en cascade dans un troisième compartiment, dit *aérateur* (E), sur une série d'étagères perforées qui supportent chacune une couche de matériaux (scories ou graviers) de différentes grosseurs. L'étage inférieur de ce troisième compartiment est une chambre à air dont la communication avec l'air extérieur est assurée par une large cheminée (A).

Nous ne connaissons aucune application de ce système qui nous permette de porter un jugement sur sa valeur pratique. Mais, outre qu'il nous paraît beaucoup trop compliqué, il présente au moins deux défauts qui doivent forcément nuire à son efficacité et le rendre promptement inutilisable. Le premier est qu'il est impossible d'effectuer, sans démonter et vider tout l'appareil, le curage de l'un quelconque de ses comparti-

ments. Le second, plus grave encore, réside dans ce fait que les liquides déversés dans l'*aérateur* y pénètrent au fur et à mesure que se produisent les chasses en C, sans que soient assurées des *intermittences convenables*. Supposons par exemple que deux ou trois chasses arrivent coup sur coup en E, le produit de la seconde et, plus encore, celui de la troisième, traverseront l'aérateur avant que celui de la première ait eu le temps de s'oxyder. Il eût fallu, au moyen d'un dispositif analogue à celui des réservoirs à siphons de chasses automatiques, retenir à la partie supérieure du compartiment E un volume déterminé du liquide sortant des fosses septiques et faire en sorte que ce liquide ne puisse se déverser en cascade que *par intermittences suffisamment espacées* sur les matériaux nitrificateurs.

VII. — **Fosse septique et lit bactérien pour habitations de A. Degoix** (Lille, 42, rue Masséna). — Nous ne reviendrons pas sur la description de cet appareil que nous avons déjà mentionné (vol. II, p. 72). Mais nous croyons utile d'indiquer une modification très avantageuse que l'auteur a cru devoir y apporter et qui consiste, ainsi que l'indique la figure 12, à faire précéder le lit bactérien d'un réservoir de chasse automatique enfermé en vase clos. Le volume de ce réservoir est calculé, suivant l'importance de l'installation, de manière à retenir une quantité d'eau (sortant de la fosse septique) correspondante au produit de plusieurs chasses. On assure ainsi, d'une manière aussi parfaite que possible, l'intermittence des déversements de liquide sur le lit bactérien et ces déversements s'effectuent par une série de jets formant becs pulvérisateurs. Les matériaux du lit ne se trouvent, par suite, jamais noyés et l'air y circule constamment, aspiré de bas en haut par la cheminée d'appel, de telle sorte que l'évacuation de l'acide carbonique provenant des fermentations aérobies d'une part, et l'oxydation des matières fixées par les matériaux du lit d'autre part, s'effectuent dans les meilleures conditions.

Des appareils de ce genre fonctionnent dans plusieurs établissements publics, entre autres au Lycée de Lille et au Lycée de Saint-Omer (*fig.* 13 et 14). Ils donnent toute satisfaction. Les liquides épurés qui s'en échappent ne sont pas putrescibles

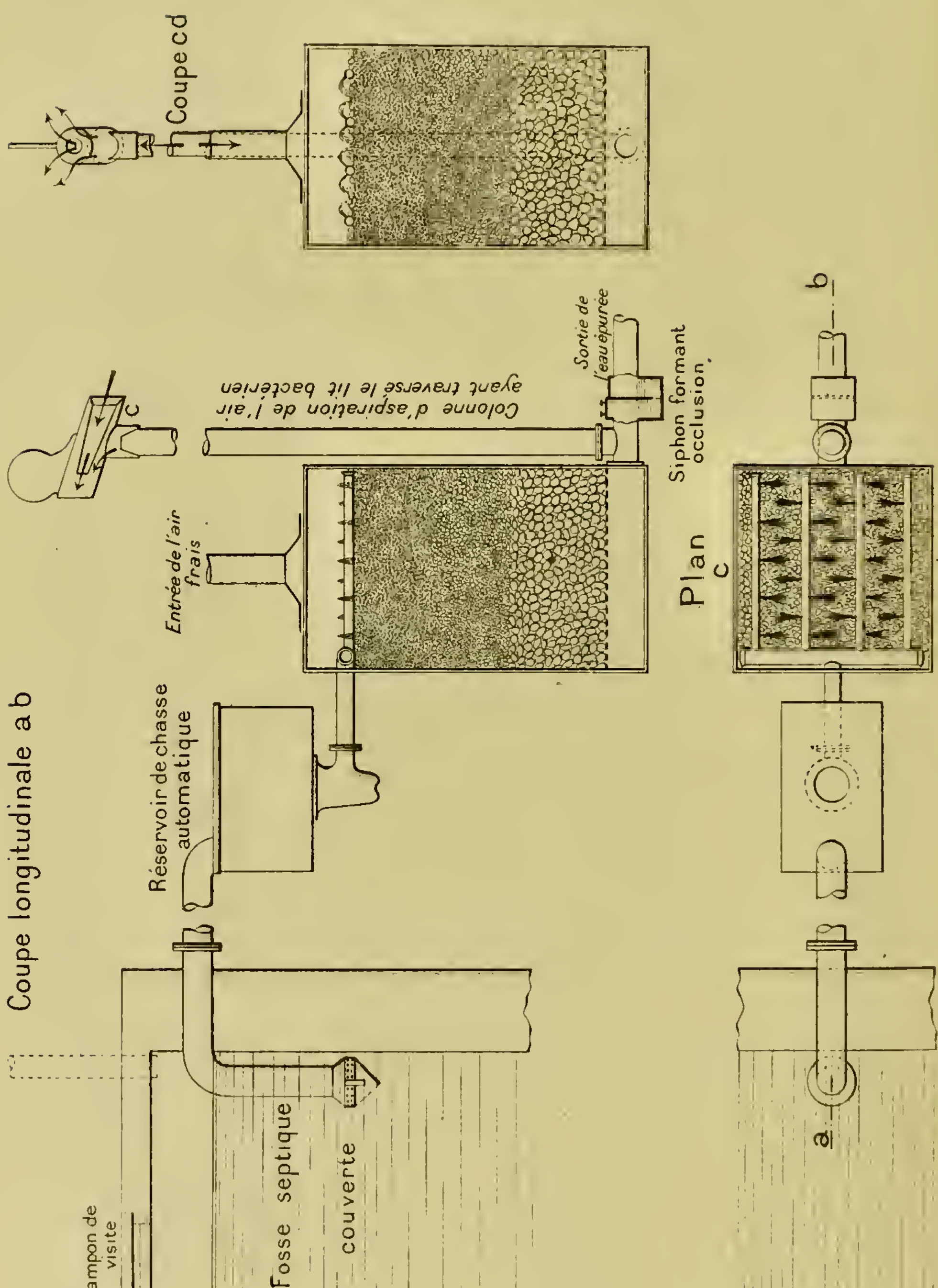


Fig. 42. — Lit bactérien à chasse intermittente et automatique de A. Degoix.
Adaptable aux fosses septiques d'habitations non reliées à un réseau d'égout.

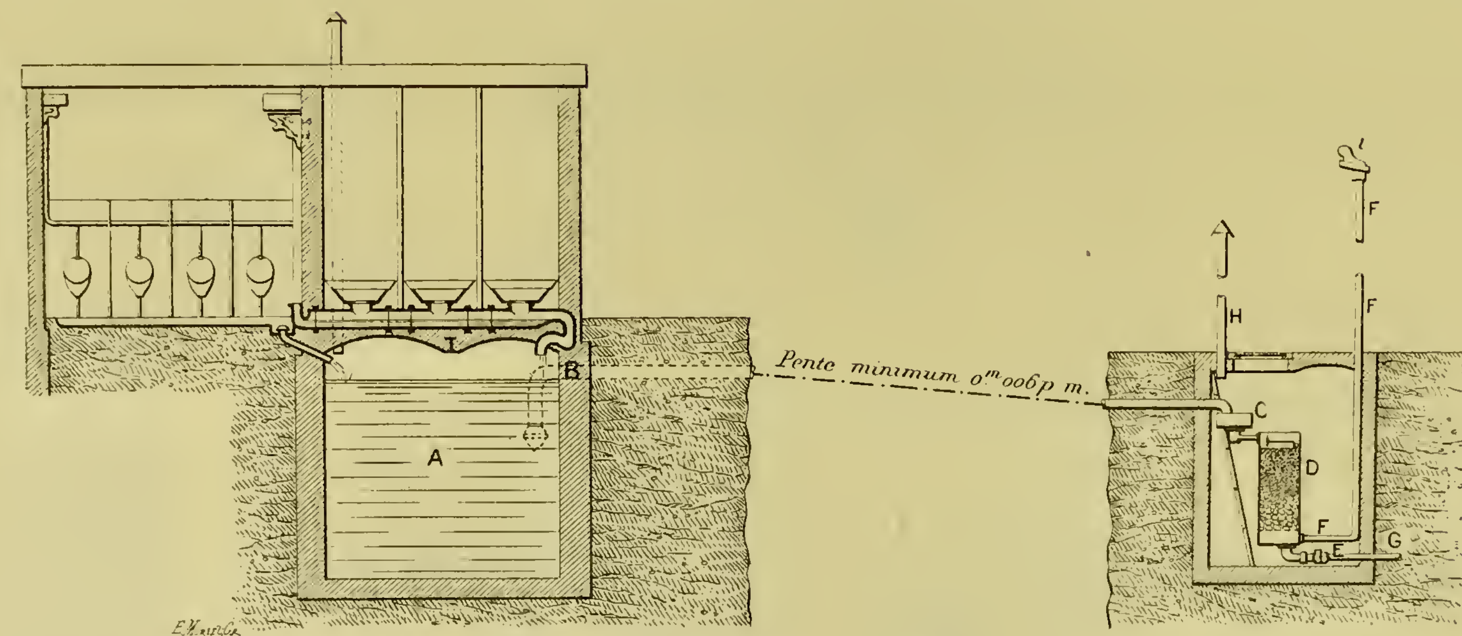
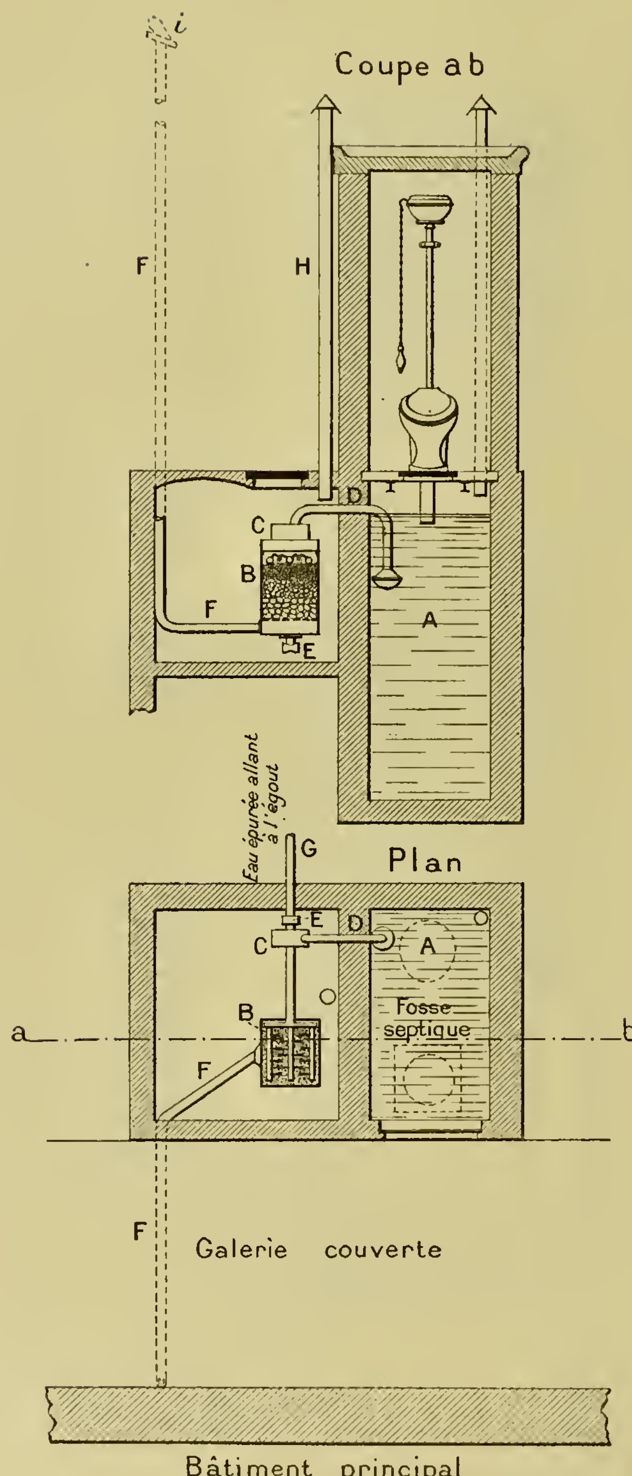


Fig. 13. — Lit bactérien pour habitation.

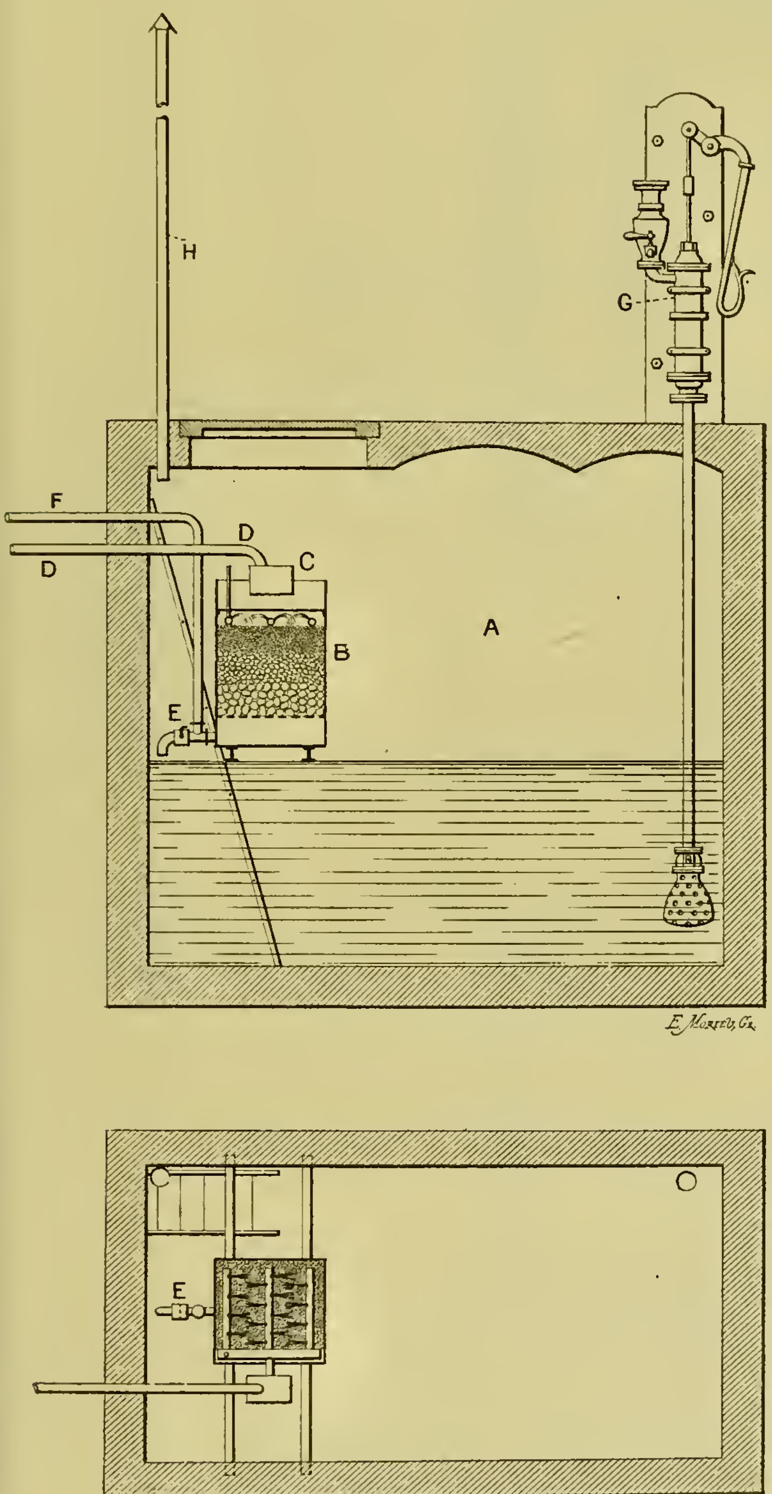
WC à la turque et urinoirs (Lycée de Saint-Omer). Lit bactérien éloigné de 60 mètres de la fosse septique.

A Fosse septique.
B Siphon anaérobie.
C Réservoir de chasse automatique.
D Lit bactérien.
E Siphon de garde.
F Colonne d'aspiration de l'air ayant traversé le lit bactérien.
G Sortie de l'eau épurée.
H Entrée d'air frais.
I Aspirateur.



A Fosse septique.
B Lit bactérien.
C Réservoir de chasse automatique.
D Siphon anaérobie.
E Siphon de garde.
F Colonne d'aspiration de l'air ayant traversé le lit bactérien.
G Sortie de l'eau épurée.
H Entrée d'air frais.
I Aspirateur.

Fig. 11. — Lit bactérien pour habitation isolée.



A Citerne d'eau épurée.
B Lit bactérien.
C Réservoir de chasse automatique.
D Tuyau de raccordement du lit bactérien au siphon anaérobie (fosse septique).
E Siphon de garde.
F Colonne d'aération de l'air ayant versé le lit bactérien.
G Pompe.
H Entrée d'air frais.

Fig. 15. — Lit bactérien pour habitation avec citerne pour l'eau épurée.

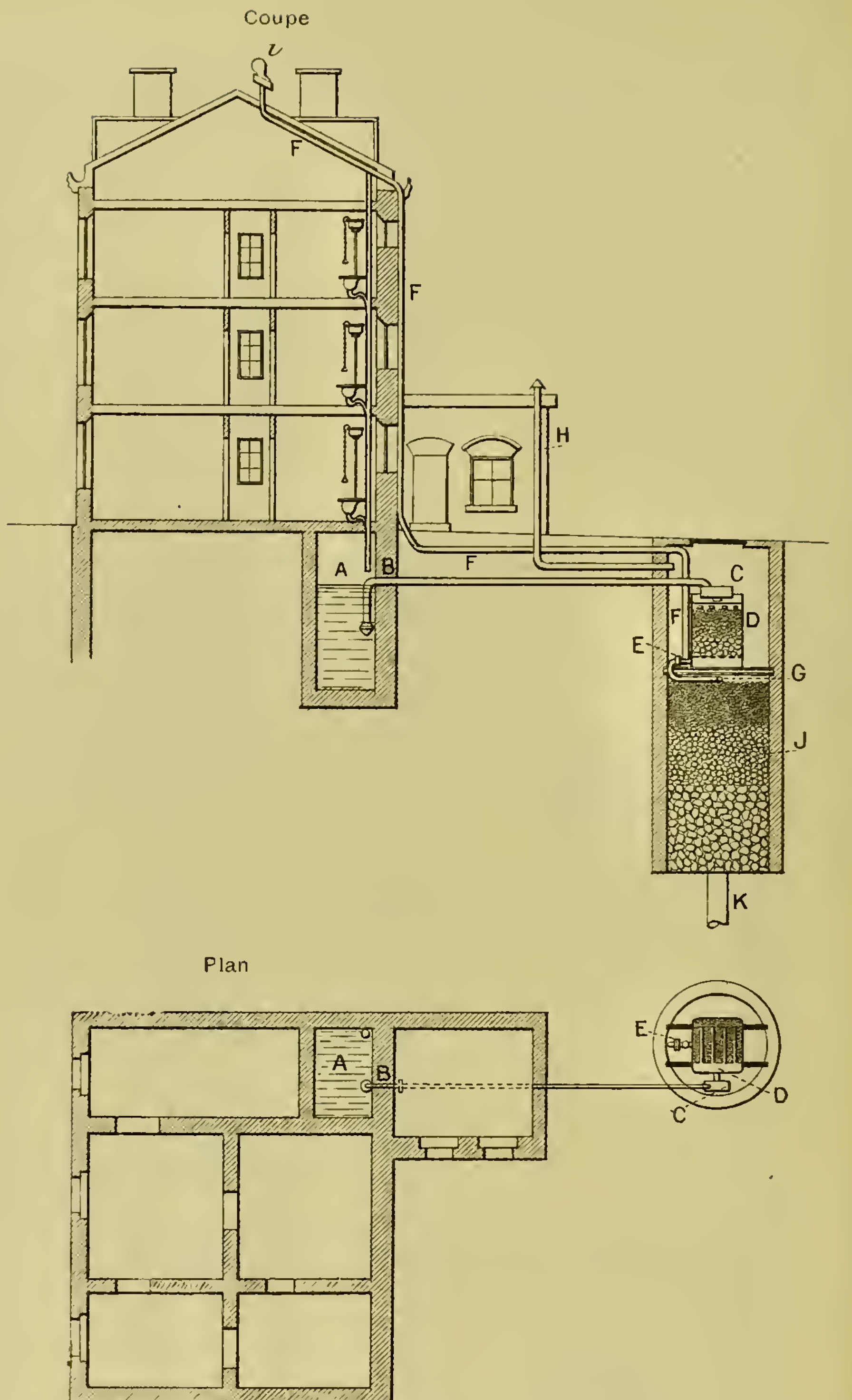


Fig. 16. — Fosse septique et lit bactérien pour habitation isolée d'un réseau d'égout avec évacuation de l'effluent épuré dans un puits perdu K.

A Fosse septique.

B Siphon d'évacuation de la fosse septique.

C Réservoir de chasse automatique et intermittente.

D Lit bactérien.

E Siphon de garde pour l'évacuation de l'eau épurée.

F Colonne d'aspiration de l'air ayant traversé le lit bactérien.

G Sortie de l'eau épurée.

H Entrée de l'air frais pour l'aération du puits perdu.

I Aspirateur à girouette.

J Puits perdu. — Scories.

K Puits perdu. — Forage.

et contiennent une quantité de nitrates variant de 30 à 125 milligrammes par litre, ce qui indique une excellente épuration.

Pour les installations faites à la campagne, il est évidemment possible de tolérer le déversement de telles eaux soit dans des bassins, pour qu'elles puissent être utilisées à l'arrosage des cultures (*fig.* 15), soit dans des puisards absorbants remplis de scories et pourvus d'un dispositif d'aération, comme l'indique la figure 16, analogue à celui que propose M. *E.-S. Auscher* (de Versailles).

Dans ces conditions, les nappes aquifères souterraines ne risquent guère d'être contaminées. Aucun des appareils actuellement connus et employés pour l'épuration des eaux-vannes et des matières de vidange dans les maisons particulières, ne paraît présenter plus de garanties de bon fonctionnement et de salubrité.

Il est particulièrement intéressant et recommandable pour les pays chauds, car il permet d'éviter complètement la pullulation des moustiques et autres insectes ailés, si l'on prend la simple précaution de garnir de doubles toiles métalliques fines les ouvertures de tuyaux de chute et des cheminées d'aération du lit bactérien.

CHAPITRE XVII

RÈGLES GÉNÉRALES POUR L'ÉTABLISSEMENT DES FOSSES SEPTIQUES ET DES LITS BACTÉRIENS POUR HABITATIONS ISOLÉES

Quel que soit le système auquel on veuille s'adresser pour réaliser l'épuration des eaux d'égout d'une habitation privée ou collective lorsque l'effluent doit être évacué, soit dans un réseau de canalisations urbaines, soit dans un puisard absorbant ou dans un cours d'eau, il est certaines règles que nous croyons nécessaire de préciser et dont on ne devra jamais se départir.

1° **Fosses septiques**. — Elles devront être construites en maçonnerie cimentée à l'intérieur et parfaitement étanches, ou mieux en ciment armé, ou encore en métal pour les appareils de petites dimensions.

La capacité de la fosse sera de 10 fois le volume qu'elle peut être appelée à recevoir journellement.

Si cette fosse ne doit recevoir que le produit des water-closets, il faut, autant que possible, utiliser pour ces derniers des appareils à effets d'eau débitant 10 litres par chasse.

On compte alors, en moyenne, 25 litres par personne et par jour pour les habitations privées ; 15 litres seulement pour les habitations collectives (casernes, collèges, prisons, etc...) et 15 litres de plus dans les deux cas pour les eaux de toilette.

Si l'on veut y joindre les eaux de lavage de cuisine et autres, on ajoutera encore 6 litres par personne et par jour. Toutefois, comme ces eaux renferment beaucoup de graisses, il faut augmenter la capacité de la fosse septique et la porter à 20 fois le volume total journalier.

On se gardera d'admettre en fosse septique les eaux des *bains* et celles des *buanderies*, car l'afflux irrégulier et important.

correspondant à la capacité d'une baignoire et arrivant tout d'un coup dans la fosse, apporterait une perturbation dans le travail des bactéries. D'ailleurs ces eaux, comme celles des buanderies, peuvent s'écouler à ciel ouvert sans inconvénients et être simplement filtrées sur gravier avant leur rejet dans les cours d'eau.

A titre d'exemple, une fosse septique correspondant à une famille de six personnes aurait les dimensions ci-après :

1° $6 \times 25 \times 10 = 1^{m^3},500$, si elle ne reçoit que les W.-C.

2° $6 \times 40 \times 10 = 2^{m^3},400$, si elle reçoit en plus les eaux de toilette.

3° $6 \times 20 \times 46 = 5^{m^3}.520$, si elle reçoit en outre les eaux-vannes de cuisine et de lavage.

La fosse septique doit avoir une profondeur de 2 à 3 mètres. Elle doit être munie d'une trappe de visite (ordonnance de police) et d'un tuyau de ventilation de 100 millimètres, en zinc ou en fonte, allant jusqu'au toit (la fonte est indispensable dans la traversée des maçonneries). Ce tuyau a pour objet, contrairement à ce qui a été fait pour les fosses *Mouras*, d'éviter que les gaz provenant de la décomposition des matières organiques se mettent en pression dans la fosse.

Les tuyaux de chute des matières doivent plonger de $0^m,050$ millimètres en dessous du niveau du liquide dans la fosse; une plus grande plongée entraîne des inconvénients dans le fonctionnement des W.-C.

Lorsque les appareils de W.-C. ne sont pas des appareils de chasse donnant environ 10 litres d'eau par chasse, il devient nécessaire d'ajouter un volume d'eau suffisant pour former le débit journalier de 20 litres par personne et par jour. On arrive à ce résultat soit par un écoulement continu, soit par un siphon de chasses automatiques et intermittentes, communiquant avec un réservoir d'eau.

2° **Lit bactérien.** — On doit toujours faire précéder le lit bactérien d'un réservoir de chasse automatique ou de tout autre dispositif permettant d'assurer l'*intermittence des déversements* et la *régularité de l'épuration*.

Tout l'ensemble de l'installation doit être fermé pour éviter le dégagement des odeurs.

La hauteur des scories dans le lit bactérien ne sera pas moindre de 1m,10 et la différence de niveau entre la sortie de la fosse septique et la surface des scories sera d'environ 0m,60. Il faut ajouter à ces chiffres 0m,10 pour l'évacuation de l'effluent, soit au total 1m,80.

Si la configuration du sol permet d'augmenter la hauteur du lit jusqu'à 1m,75 ou 2 mètres, on n'hésitera pas à en profiter.

Les dimensions du lit bactérien en surface seront déterminées sur la base d'une épuration de 0m³,500 par mètre carré et par jour.

Donc, pour une famille de 6 personnes, le lit aura respectivement, dans chacun des cas prévus ci-dessus au sujet de la fosse septique :

1° $\frac{0,150}{0,500} = 0^{m2},30.$

2° $\frac{0,240}{0,500} = 0^{m2},48.$

3° $\frac{0,276}{0,500} = 0^{m2},55.$

Le tuyau de rentrée d'air frais, amenant l'air à la surface du lit, aura 0m,150 de diamètre. Il sera, en principe, le moins haut possible s'il s'agit d'habitations isolées ; mais, dans les agglomérations, on l'élèvera à 2m,50 de hauteur, en l'éloignant de 5 mètres environ de toute fenêtre ouvrante.

Le tuyau d'aspiration, entraînant les gaz pris sous le lit bactérien, aura également 0m,150 de diamètre, s'élèvera à la hauteur du toit et sera surmonté d'une girouette aspiratrice.

La répartition du liquide à la surface du lit bactérien peut s'effectuer, soit par des rigoles distributrices à trous ou à fentes, soit avec un dispositif de tuyaux perforés à leur partie supérieure tous les 3 ou 5 centimètres et fonctionnant sous la pression du réservoir de chasse automatique.

L'évacuation de l'effluent épuré se fera par une canalisation quelconque en grès ou en fonte. Il sera toujours utile de prévoir, à son départ, l'installation d'un petit réservoir de 2 ou 3 litres de capacité permettant de recueillir des échantillons d'eau épurée et de vérifier de temps en temps, par des analyses, l'efficacité du système.

CHAPITRE XVIII

NOUVEAUX APPAREILS DE DISTRIBUTION AUTOMATIQUE POUR LITS BACTÉRIENS

1° **Distributeur Farrer.** — Cet appareil, combiné surtout pour desservir les petites installations particulières isolées, telles que *hôpitaux*, *collèges*, *maisons de campagne*, consiste en une gouttière de fer galvanisé en forme de V et divisée longitudinalement en deux moitiés. Cette gouttière, maintenue horizontale par deux supports, peut basculer alternativement

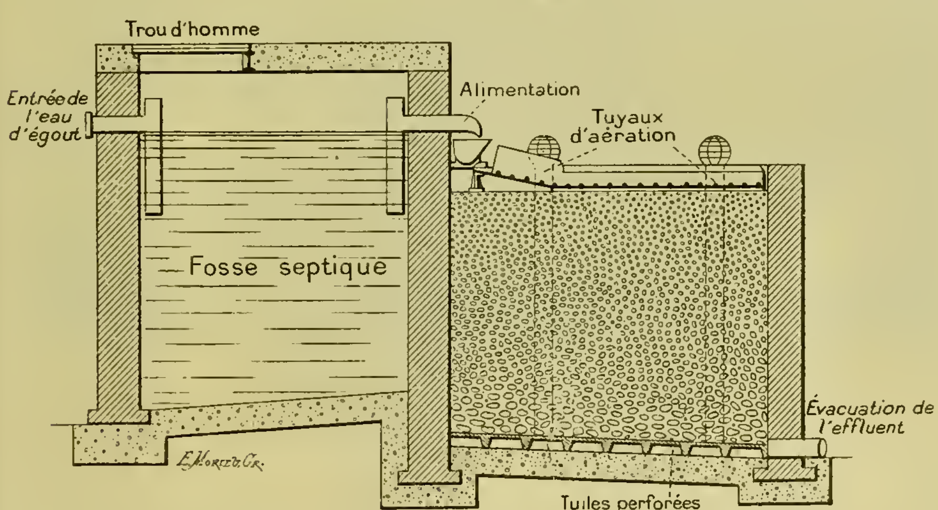


Fig. 17. — Distribution automatique de *Farrer* (coupe longitudinale).

à droite et à gauche. Lorsque le liquide sortant de la fosse septique a rempli l'une de ses moitiés, le centre de gravité de celle-ci est déplacé : elle bascule, et l'autre moitié vient alors se présenter vide au remplissage.

De chaque côté de la gouttière et reposant directement sur le lit bactérien, est fixé tout un système de canaux de distribution formant *chutes concentriques*. Chaque chute déverse une partie du flot dans une nochère répartitrice dentelée et

perforée de trous agencés de telle sorte que la surface entière du lit reçoive le même volume d'eau à épurer.

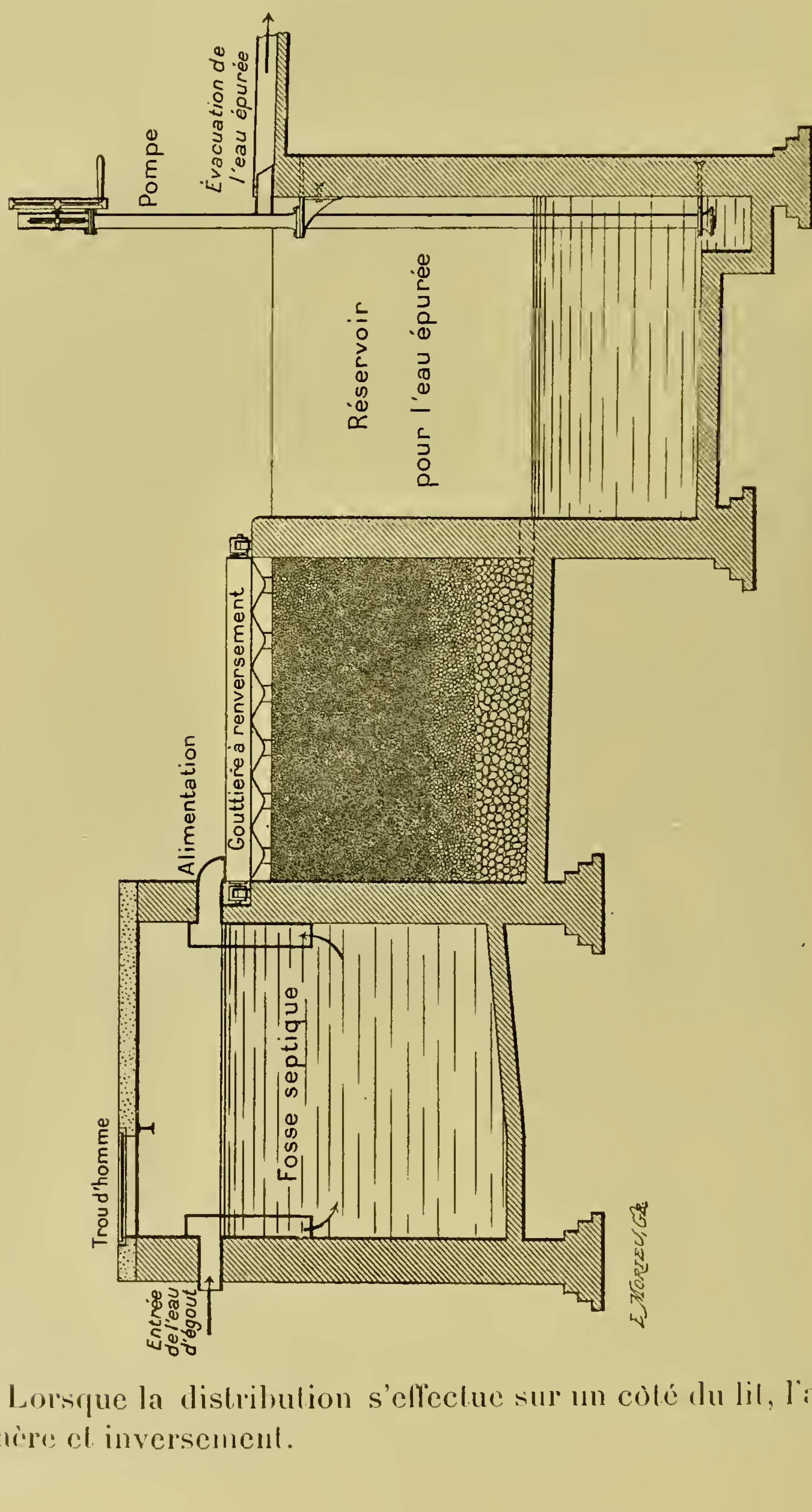


Fig. 18. — Distributeur automatique de *Farrer*, avec réservoir pour l'eau épurée.

Lorsque la distribution s'effectue sur un côté du lit, l'autre s'aère et inversement.

La figure 17 montre un petit dispositif de ce genre dont les dimensions sont calculées pour traiter 750 litres par jour, soit, largement comptée, la quantité d'eaux-vannes produite par cinq personnes. Le lit bactérien a 2 mètres × 1 mètre et travaille à raison de 370 litres par mètre carré et par jour.

La fosse septique a une capacité d'environ 1.500 litres, représentant le sewage total de 2 jours. Elle est couverte, et



Fig. 19. — Distributeur automatique à renversement de *Farrer*; plan d'installation pour maisons, hôpitaux, etc.

son plafond est muni d'un trou d'homme permettant les dragages éventuellement nécessaires.

La section du lit bactérien montre les détails de sa construction. On voit qu'il repose sur une sole de tuiles perforées, sous lesquelles l'air extérieur parvient aisément grâce à deux tuyaux d'aération en terre cuite. Ceux-ci viennent déboucher à l'extérieur tout auprès de la surface du lit.

Lorsque les circonstances ne permettent pas de disposer d'une chute suffisante, on peut adopter la disposition que représente la figure 18. Les eaux épurées sont alors reçues dans un bassin spécial (réservoir pour l'eau épurée) placé en

contre-bas du lit bactérien et, dès que leur niveau atteint celui de la sole du lit, on les évacue à l'extérieur à l'aide d'une pompe.

Les figures 19 et 20 montrent ce système appliqué à des installations plus importantes. On peut le voir fonctionner

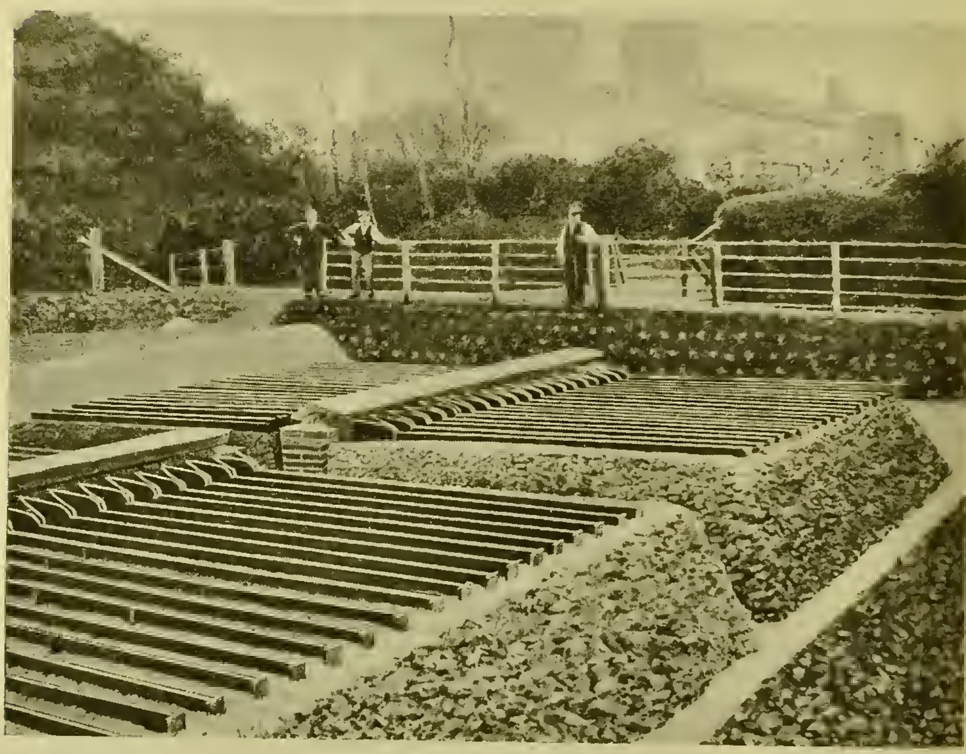


Fig. 20. — Distributeur automatique à renversement de *Farrer*, à *West Stoneham Union*, près Southampton.

près de *Southampton*, à *West Stoneham Union*, ou encore à *Thornbridge Hall*, près de *Bakewell* (Derbyshire).

Le distributeur *Farrer* est construit par M. *William E. Farrer*, *Star Works*, *Cambridge street*, à *Birmingham*.

2° **Distributeur « va et vient » de Ham-Baker.** — MM. *Ham-Baker et C°* (13 *Grosvernor road*, *Westminster*, *Londres S. W*) ont construit récemment un distributeur spécialement agencé pour desservir les lits bactériens rectangulaires.

Ce distributeur est alimenté par un canal latéral au lit et ouvert à l'air libre, dans lequel plonge un siphon qui amène l'eau, au moyen de deux tuyaux parallèles, alternativement de

chaque côté d'un long cylindre formant moulin comme le *Fiddian* (voir vol. I, p. 141, fig. 11 et 12).

Une valve à renversement est fixée sur l'extrémité de l'appareil, à la base du siphon d'alimentation. Elle dirige l'eau à épurer, tantôt dans le tuyau longitudinal droit, tantôt dans le gauche, et le renversement du courant s'effectue chaque fois qu'une tige qui commande la valve vient buter sur un obstacle fixe placé à chaque extrémité du lit. Le distributeur alimente ainsi successivement et régulièrement, d'avant en arrière,



Fig. 21. — Distributeur automatique « *va et vient* » de *Ham Baker* à *Wednesbury*, près *Birmingham*.

toute la surface du lit. Son débit peut varier suivant le calibre et l'ouverture du siphon. Il n'est pas susceptible de s'obstruer, puisque l'eau est simplement déversée dans les augets, et les vents les plus violents ne gênent pas sa marche. Il présente à cet égard des avantages incontestables sur les *sprinklers* ou *tourniquets hydrauliques* (vol. I, p. 139, fig. 9 et 10).

On peut voir fonctionner cet appareil, que représentent les figures 21 et 22, à *Wednesbury* (*Bescot junction station, près Birmingham*) à *Bolton*, à *Bradford* et à *Wolverhampton*.

3° **Valve automatique de Ham, Baker et C° pour l'alimentation intermittente des lits bactériens.** — Les mêmes construc-

teurs ont établi, pour l'alimentation intermittente des lits bactériens, un système fort ingénieux de valve automatique qui peut trouver dans beaucoup de cas son emploi avantageux.

Cette valve, représentée dans la figure 23, en *V* dans sa position fermée, est traversée par une tige qui porte, à son extrémité supérieure, un poids métallique P. Ce poids est relié par une chaîne à un bras de levier L monté sur un couteau de suspension. La branche courte du bras de levier est articulée



Fig. 22. — Distributeur automatique « *va et vient* » de *Ham-Baker*, à *Bradford*, sur lit double.

à un récipient métallique R destiné à former contrepoids. Lorsque le niveau de l'eau d'égout dans le canal d'amenée C atteint son maximum en *m*, la goulotte *g* remplit le récipient R et le poids de l'eau qui s'y accumule fait alors basculer le levier L sur son couteau de suspension ; la vanne V s'ouvre et l'eau à épurer se précipite dans le tuyau T pour aller desservir soit un *sprinkler*, soit tout autre appareil de distribution mécanique. Quand le niveau de l'eau est ramené à *n* dans le canal C, la valve se referme automatiquement sous l'action du poids P, et le liquide que contenait le récipient R se vide par la petite tubulure *t* et par l'orifice *o* dans le tuyau T qui, à ce moment, est vide.

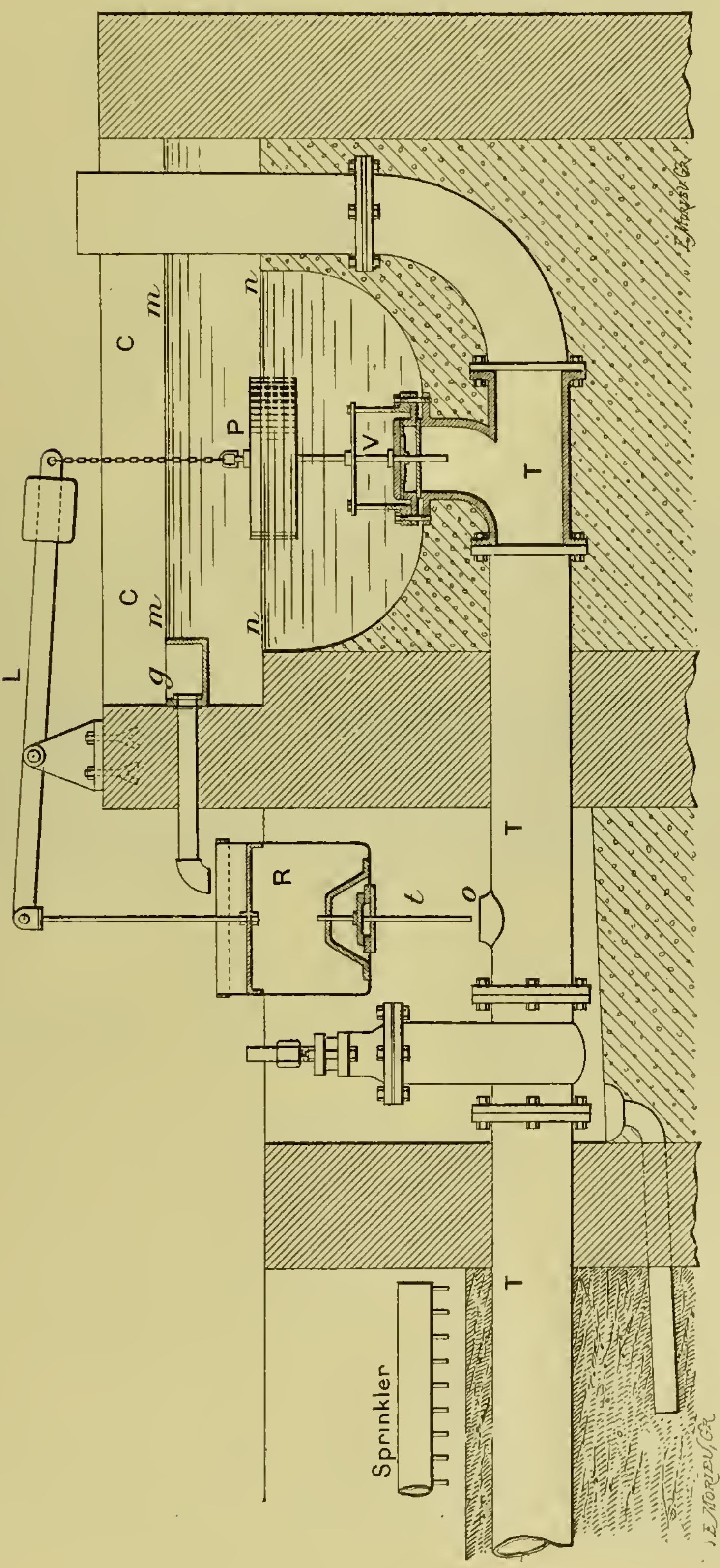


Fig. 23. — Valve automatique de *Ham Baker and C°*, pour l'alimentation intermittente des lits bactériens.

La robustesse et la simplicité de cet appareil permettent de l'utiliser dans des installations importantes. Nous l'avons vu fonctionner à *Chester* et l'ingénieur chargé de la station d'épuration s'en est affirmé très satisfait.

4° **Becs pulvérisateurs ou « Fixed spray jets ».** — Plusieurs types de becs pulvérisateurs ont été imaginés pour épandre régulièrement l'eau d'égout en pluie fine sur les lits bactériens. Nous avons déjà décrit dans notre volume I (p. 155, fig. 7) celui qui est employé à *Chesterfield*, et volume II (p. 125,

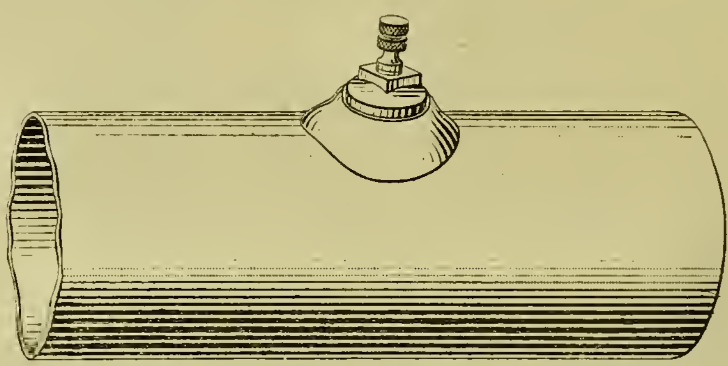


Fig. 24. — Bec pulvérisateur ou « *Fixedspray jet* » de *Ham Baker and C°*.

fig. 32) celui de M. *Joseph Corbett*, utilisé à la station d'épuration de *Salford*.

A *Birmingham*, où ce système de distribution est employé sur la plus vaste échelle, on a adopté le *fixed spray jet* de *Ham*, *Baker et C°* que représentent les figures 24 et 25.

Ces becs pulvérisateurs sont constitués par un ajutage à double couronne concentrique, qui s'emboîte au moyen d'un simple dispositif à baïonnette dans des orifices percés sur les tubes de distribution. Ils présentent, par suite, de grandes commodités pour le nettoyage en cas d'obstruction. Ils obligent l'eau à jaillir en deux cônes concentriques divergents, de telle sorte que la surface du lit est mieux utilisée et que l'aération est plus parfaite.

Ces becs peuvent lancer, sous forme de *spray*, plus de 5 mètres cubes et demi d'eau par hectare et par 24 heures, sous une pression moyenne de 1m,80, mais qui ne doit pas être inférieure à 1m,50.

Ils sont disposés de préférence en quinconce et espacés les



Fig. 25. — Becs pulvérisateurs ou « *fixed spray jets* », de *Ham Baker*, sur lits à percolation, de *Birmingham*.

uns des autres de 3 à 4 mètres, suivant la pression à laquelle on les alimente.

CHAPITRE XIX

DÉCANTATION ET SÉPARATION MÉCANIQUE DES MATIÈRES SOLIDES AVANT FERMENTATION EN FOSSES SEPTIQUES

1° **Séparation mécanique.** — Une des conditions les plus essentielles pour que les fosses septiques fonctionnent bien est d'éviter que les matières solides de dimensions supérieures à 5 centimètres y pénètrent. On doit donc assurer aux eaux d'égout une décantation convenable avant leur admission dans ces fosses, et cette décantation doit avoir

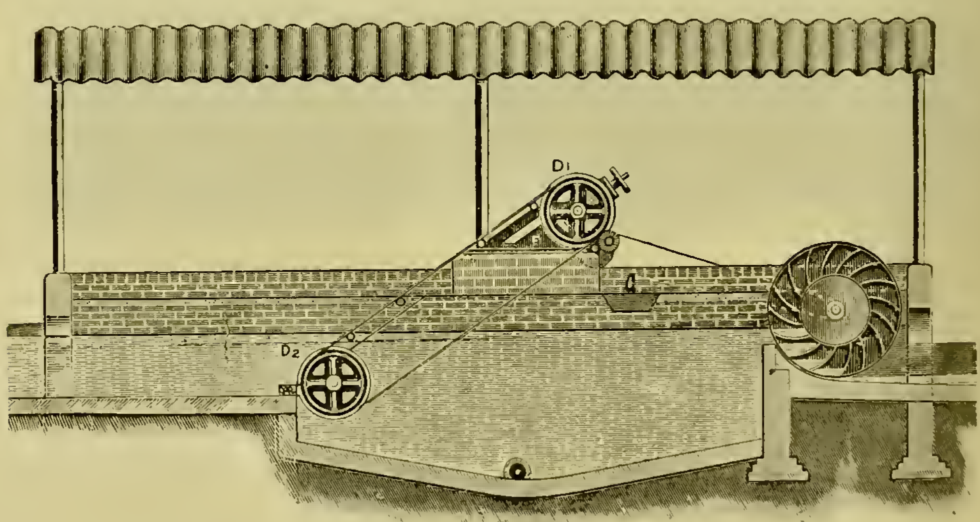


Fig. 26. — Coupe schématique de grilles roulantes de J. *Smith*.

pour objet, non seulement d'arrêter les corps volumineux dont la dissolution par les actions microbiennes serait trop lente, mais aussi d'empêcher que les matières minérales insolubles et lourdes, sables, graviers, scories, débris métalliques, viennent encombrer les fosses, diminuer leur capacité volumétrique utile et rendre nécessaires de trop fréquents dragages.

On a imaginé un grand nombre d'appareils qui répondent à ce but, mieux que ne le peuvent faire les simples grilles à peignes mécaniques, bien connues en France, et qu'on peut voir fonctionner à l'usine de refoulement des eaux d'égout de *Paris*, à *Clichy*.

Les grilles placées devant les pompes, à *Clichy* et dans toutes les installations un peu anciennes, consistent généralement en barreaux de fer inclinés à angle de 30 à 45° et espacés



Fig. 27. — Grilles roulantes de *J. Smith*, à *Chester*.

de 15 à 40 millimètres. En amont de ces grilles l'eau traverse des puits où les matières les plus lourdes s'accumulent et d'où elles sont enlevées par des corbeilles ou dragues mécaniques.

Les grilles sont constamment maintenues libres au moyen de peignes ou rateaux mobiles qui s'engagent entre leurs barreaux pour en extraire les dépôts.

D'autres dispositifs sont constitués par des grilles mobiles. Tel est le système de *Schneppendahl*, formé de plusieurs grilles rotatives entraînées par le courant et nettoyées automatiquement.

Mais ces appareils laissent encore passer des corps trop

volumineux qu'il faut chercher à séparer autant que possible.

Celui qui nous paraît le mieux répondre aux besoins spéciaux de l'épuration biologique est le tamis rotatif de *John Smith et C°*, de *Carshalton* (*fig.* 26), que nous avons vu fonctionner à *Chester* (*fig.* 27), à *Birmingham* (*fig.* 28), à *Bradford* et à *Nuneaton*.

Ce tamis, placé à la façon d'une large courroie sur deux



Fig. 28. — Grilles roulantes de *J. Smith*, à *Birmingham*.

cylindres mobiles, est mis en mouvement par le courant d'eau d'égout. Les matières en suspension sont enlevées par une brosse tournante et envoyées dans une gouttière spéciale C, d'où une vis sans fin peut les conduire automatiquement au dehors et les déverser dans des wagonnets ou des chariots.

L'appareil de *Herzberg*, à *Göttingen*, est tout à fait analogue.

Celui de *Latham*, à *Croydon*, consiste en un tamis circulaire, également mû par l'eau d'égout et placé perpendiculairement au courant (*fig.* 29). Les matières en suspension sont enlevées au moyen de brosses.

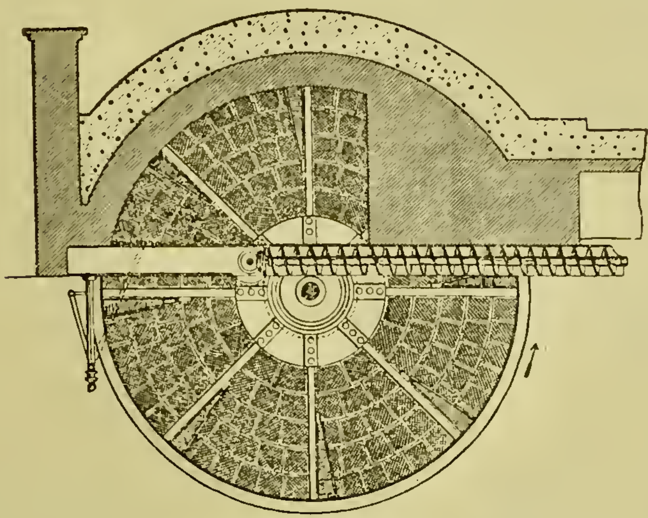


Fig. 29. — Séparateur vertical de *Latham*, à *Croydon*.
(*Placé perpendiculairement au courant et mû par celui-ci.*

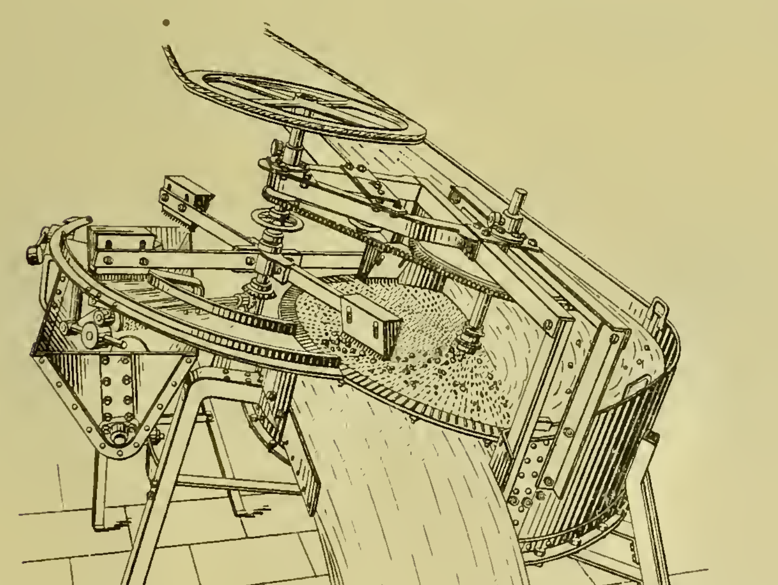


Fig. 30. — Appareil de *Riensch* pour la séparation des matières flottantes (d'après *Dunbar*).

L'appareil de *Friedrich* est analogue au précédent, mais le tamis est horizontal au lieu d'être vertical.

L'appareil de *Riensch* est également du même type (*fig.* 30). Il se compose d'un tamis circulaire presque horizontal et animé d'un mouvement de rotation. L'eau d'égout arrive à la surface de ce tamis et le traverse en se débarrassant des corps en suspension, qui sont eux-mêmes enlevés par des brosses.

Citons enfin le *Segregator* de *Weand* appliqué à *Reading* (Pensylvanie), que nous décrirons en détails en même temps que la station d'épuration de cette ville, dans un autre chapitre.

2° **Fosses à sable.** — Comme complément de la séparation mécanique, les fosses septiques doivent être précédées de fosses à sables, dont la capacité variera suivant que les eaux d'égout entraînent une plus ou moins grande proportion de substances minérales. Lorsque la canalisation urbaine est du système séparatif, ces fosses à sable peuvent être de très petites dimensions (un cinquantième ou même un centième

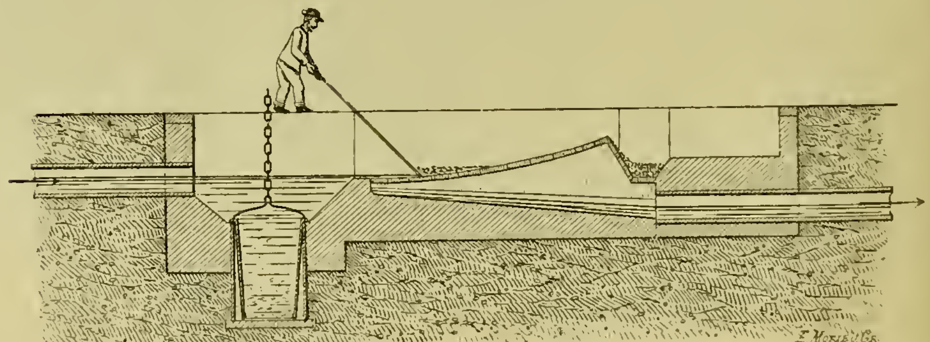


Fig. 31. — Fosse à sable à panier mobile de la *Allgemeine Städtereinigungsgesellschaft* (d'après *Dunbar*).

de la capacité des fosses septiques). Avec le système unitaire, elles devront avoir un vingtième de cette capacité ; car alors les eaux d'égout apportent une masse importante de détritus provenant du lavage des rues par les grandes pluies.

On peut donner à ces fosses à sable les formes les plus diverses.

La Société Générale pour l'assainissement des villes (*Allgemeine Städtereinigungsgesellschaft*) a adopté un dispositif en

forme de puits dans lequel plonge un panier qu'on peut soulever à volonté pour en opérer la vidange (*fig.* 51). Cette disposition est très répandue en Allemagne.

Dans le système de *Schneppendahl*, les fosses à sable reçoivent des récipients percés de trous qu'on enlève mécaniquement pour les vider.

On emploie parfois aussi le vide pour l'aspiration des sables déposés dans les fosses (*Cologne*).

La plupart des installations des grandes villes consistent en fosses à fond horizontal, que l'appareil débourbeur peut racler sur toute son étendue. Par exemple, à *Birmingham*, le débourbeur est mobile sur rails et peut enlever les dépôts au moyen d'une grue mécanique sur tous les points de la fosse.

A *Dresde*, l'installation faite par le système de *Riensch* comprend, pour le traitement de 45.000 mètres cubes d'eau d'égout par jour, une fosse à sable à fond horizontal, circulaire, de 6 mètres de diamètre, portant à l'intérieur une deuxième chambre à sable concentrique, beaucoup plus petite et ouverte en un point de la paroi. Cette disposition brise le courant d'eau et facilite le dépôt des corps lourds.

5° **Appareils de décantation.** — Les recherches les plus intéressantes effectuées sur ces procédés dans ces dernières années sont celles de *Steuernagel*, à *Cologne*, de *Bock* et *Schwartz*, à *Hanovre*, et de *Schmidt*, à *Oppeln*.

Steuernagel a constaté que le fond des bassins de décantation doit être incliné *en sens inverse du courant et non pas dans le sens du courant*. Ses expériences ont été effectuées sur les bassins de décantation de *Cologne*. Ces bassins, longs de 45 mètres, présentent, au point d'arrivée des eaux, une fosse à boues vers laquelle s'incline le fond du bassin, en sens inverse du courant. Dans ces conditions, avec une vitesse de courant de 4 millimètres à la seconde, les bassins retiennent 72,51 pour 100 des matières en suspension. Avec un courant de 20 millimètres à la seconde, ils retiennent encore 69,08 pour 100 de ces matières. Avec 40 millimètres, la proportion s'abaisse à 58,9 pour 100.

On a constaté en outre que, pour la vitesse de 4 millimètres à la seconde, 70,7 pour 100 des boues sont retenues dans la

fosse à boues et que 29,5 se répartissent sur le fond du bassin. A 20 millimètres la fosse ne recueille plus que 51 pour 100 des boues et 49 pour 100 se répandent dans le bassin. A 40 millimètres la fosse à boues retient 45 pour 100, le bassin 55 pour 100.

On a recueilli pour 1000 mètres cubes d'eau, avec un courant de 4 millimètres par seconde, 4^{mc},04 de boues ; avec un courant de 20 millimètres, 2^{mc},474 ; avec un courant de 40 millimètres, 1^{mc},838. Et on a calculé que la teneur en eau de ces boues était la suivante :

	Eau 0/0.	Substance sèche.
	—	—
Avec un courant de 4 mm. par seconde.	95,57	4,43
— 20 — — .	92,87	7,13
— 40 — — .	91,34	8,66

Dans ces conditions, si l'on compare les quantités de matières sèches retenues par un courant de 4 millimètres à la seconde et un courant de 40 millimètres, on voit que ces

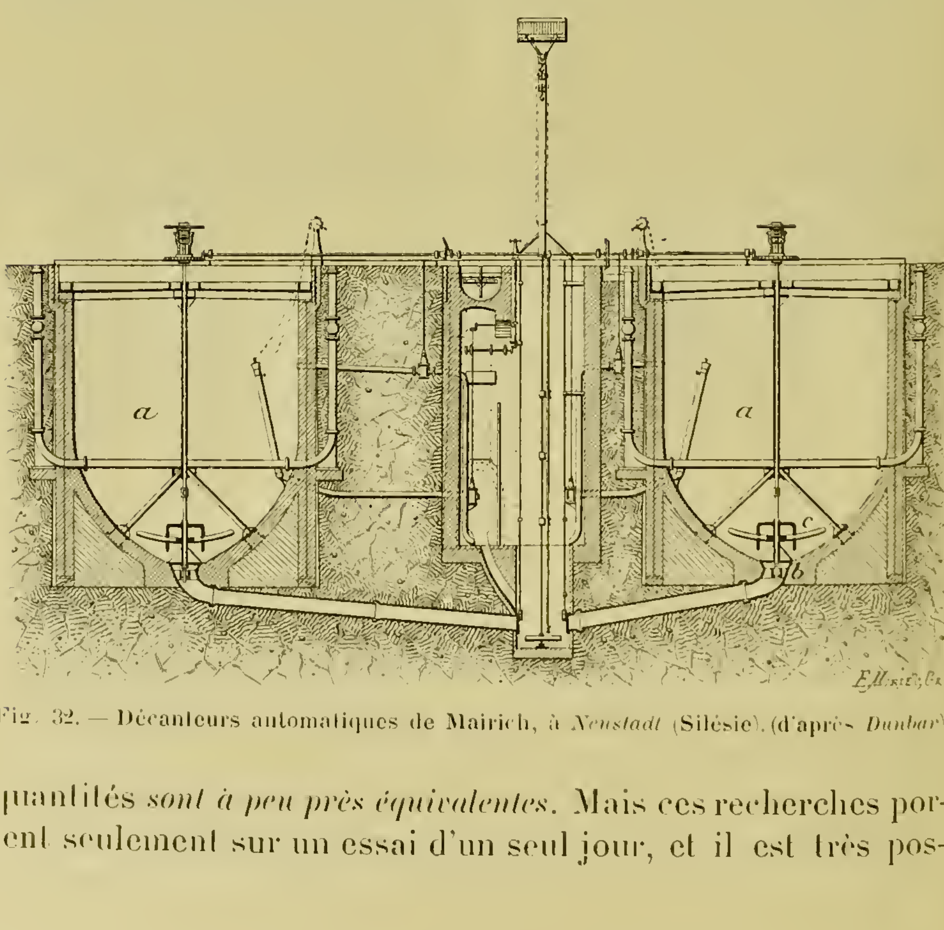


Fig. 32. — Décanteurs automatiques de Mairich, à *Neustadt* (Silésie). (d'après *Dunbar*).

quantités *sont à peu près équivalentes*. Mais ces recherches portent seulement sur un essai d'un seul jour, et il est très pos-

sible que les résultats ne soient pas identiques avec des essais prolongés pendant plusieurs jours (*Dunbar*).

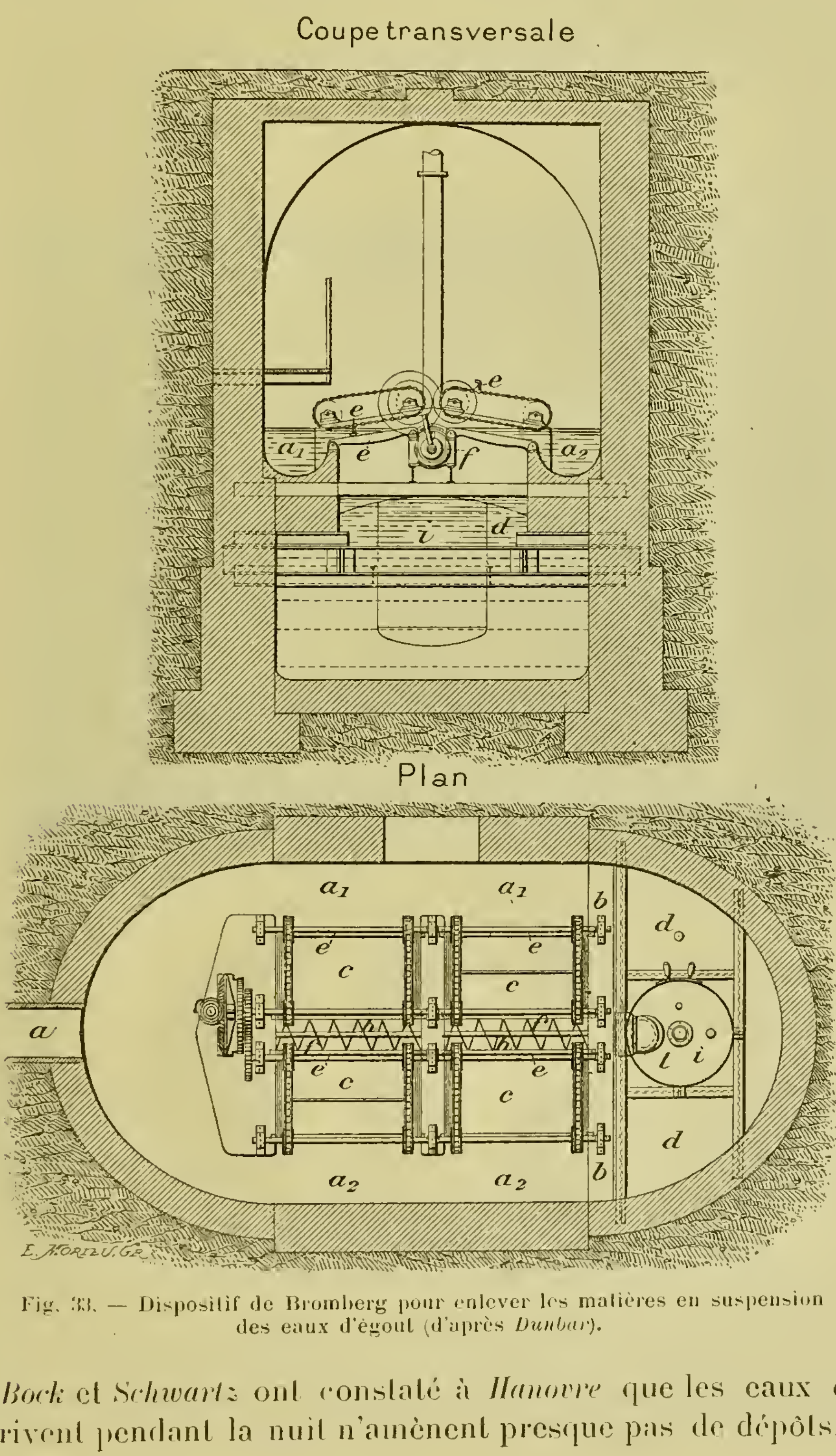


Fig. 33. — Dispositif de Bromberg pour enlever les matières en suspension des eaux d'égout (d'après *Dunbar*).

Bock et *Schwartz* ont constaté à *Hanovre* que les eaux qui arrivent pendant la nuit n'amènent presque pas de dépôts, et

au contraire tendent à entraîner ceux qui se sont déposés dans la journée. Il paraît donc avantageux de supprimer pendant la nuit le passage de l'eau dans les bassins de décantation, ce qui permet d'augmenter par le repos la précipitation des matières contenues dans ces bassins.

Bock et *Schwartz* ont également étudié les courants qui se produisent dans les bassins et ils ont pu vérifier que les eaux

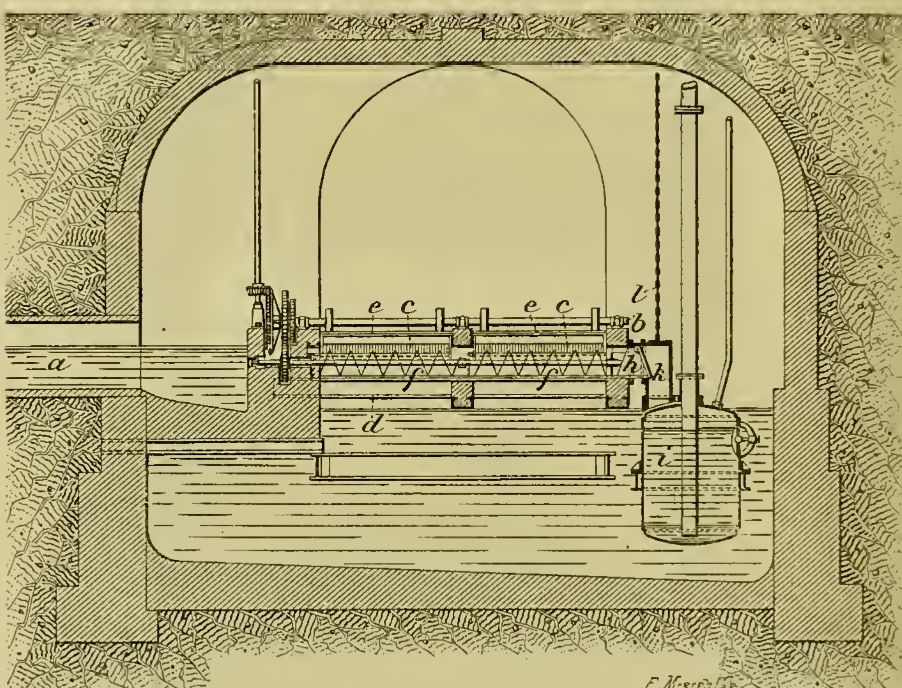


Fig. 34. — Séparateur de *Bromberg* (coupe longitudinale), (d'après *Dunbar*).

se déplacent tantôt en haut, tantôt en bas, tantôt sur les côtés, avec une vitesse deux ou trois fois plus grande que la vitesse envisagée.

Schmidt, à *Oppeln*, a fait des constatations analogues. Quand les journées sont froides, les eaux coulent à la surface, au-dessus de la partie profonde du bassin. Quand les journées sont chaudes, les courants d'eaux s'abaissent vers le fond pour se retirer vers la surface à la sortie du bassin.

Mairich a construit pour *Stargard* et *Neustadt* des décanteurs qui se rapprochent des *Dortmund*. Les décanteurs de *Neustadt* (*fig.* 32) ont une profondeur de 6^{m},80. L'eau arrive par 12 tuyaux tangentiels *a*, à 4^{m},50 au dessus du niveau supérieur. La décantation des boues se fait par l'ouverture d'un orifice *b*

tandis qu'un agitateur *c* délaie la masse des dépôts. *Mairich* a construit également des petits décanteurs qu'on réunit en groupes. C'est ainsi que la ville de *Ohrdruf* possède 28 décanteurs *Mairich* pour 6,000 personnes; *Guben* en possède 84 pour un traitement journalier de 9,000 mètres cubes d'eau d'égout. Ces petits décanteurs ont en général $2^m,60$ de hauteur sur

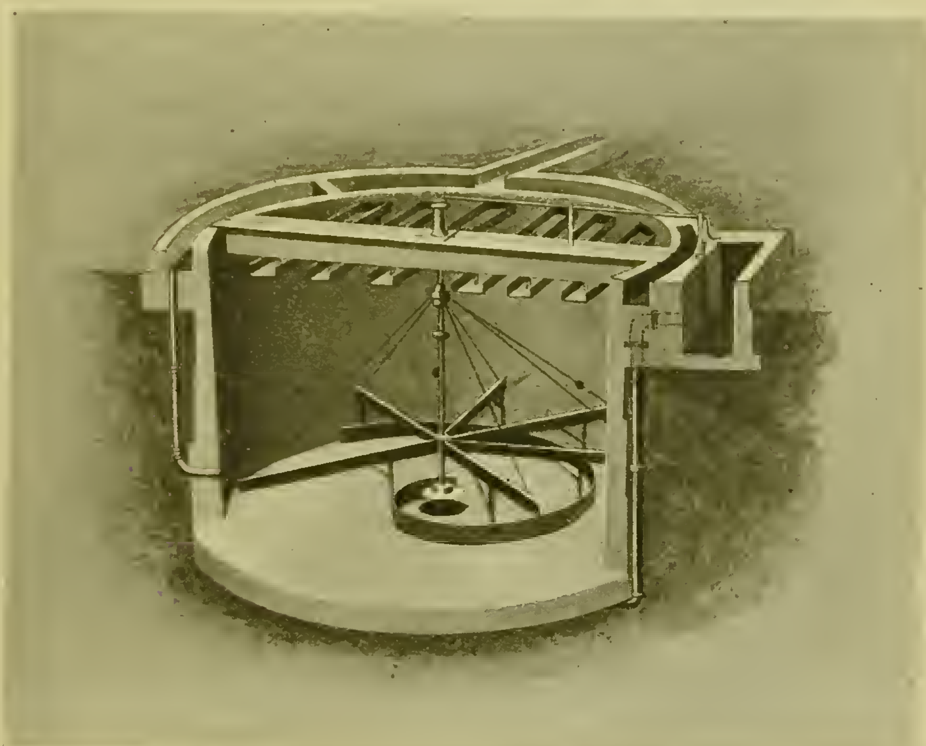


Fig. 35. — Coupe d'un bassin de décantation du système *Ham-Baker* (*Bolton* et *Birmingham*).

5 mètres carrés de surface. Ceux de *Bromberg* sont analogues (*fig.* 33 et 34).

Le travail dans les bassins à fond plat est toujours beaucoup plus simple que dans les décanteurs, qui laissent souvent échapper, lors de la vidange des boues, de grandes quantités d'eaux, et il est probable que la préférence sera toujours donnée aux bassins ordinaires quand on pourra enlever aisément les boues sans être obligé de vider la fosse. Dans cet ordre d'idées, des essais ont été faits à *Bolton*, et *Fidler* a fait construire par *Ham, Baker et Cie*, un appareil (*fig.* 35) qui a pour but de diriger les boues vers un orifice central d'évacuation.

Ce même appareil fonctionne en grand aux *Bury Corporation Sewage's works*, près de *Birmingham* (*fig.* 56).

A *Barmen-Elberfeld*, on a récemment disposé au fond des bassins de décantation des dépressions en entonnoir, d'où la boue est évacuée comme dans les décanteurs.

4° **Incinération des boues.** — Quel que soit le système employé, on rencontre généralement de très grandes difficultés à se débarrasser de ces boues. Celles qu'on extrait par dragage ou autrement des fosses septiques sont inoffensives pour l'odorat et se laissent décanter ou dessécher très facilement sur le sol ; elles ne se putréfient pas et prennent en quelques jours l'aspect d'une tourbe spongieuse. Mais il n'en est pas de même de celles qui proviennent des séparateurs ou des décanteurs et qui n'ont pas subi la fermentation septique. Ces dernières sont malodorantes, éminemment putrides et dangereuses à manipuler. Il importe donc de les extraire le plus rapidement possible par des moyens mécaniques et de les *détruire sur place* avant qu'elles aient pu fermenter.

Le procédé le plus recommandable, au double point de vue hygiénique et économique, consiste à les incinérer dans des fours analogues aux « destructors » ou appareils à brûler les ordures ménagères.

On construit actuellement plusieurs systèmes de ces fours, genre *Horsfall*, qui permettent de brûler les boues presque sans dépense de combustible. En Angleterre on emploie surtout les « destructors » de *Horsfall* (de *Leeds*), et ceux de *Manlove, Alliot et C°* (de *Nottingham*), qui permettent d'utiliser très parfaitement la chaleur de combustion des boues à la production de vapeur, d'énergie électrique ou d'air comprimé, lesquels peuvent être employés à actionner les pompes, les dynamos d'éclairage et les diverses machines que comportent les usines d'épuration de quelque importance.

Les résidus de la combustion constituent d'excellentes scories dont on trouve immédiatement l'emploi, soit pour l'entretien des lits bactériens, soit pour la confection de briques, de dalles en pisé ou d'autres matériaux de construction.



Fig. 56. — Vue générale des douze bassins de décantation du système *Ham-Baker*, à *Bury Corporation Sewage's works.*

CHAPITRE XX

ÉPURATION DES EAUX RÉSIDUAIRES DES USINES A GAZ ET DES RAFFINERIES D'HUILE MINÉRALE

Les usines à gaz et les industries qui emploient des moteurs à gaz pauvre, ou *gaz à l'eau*, déversent généralement leurs eaux résiduaires dans les eaux d'égout des villes. Or ces eaux répandent des odeurs si désagréables que certaines municipalités ont cru devoir prendre des arrêtés interdisant leur rejet dans les canalisations.

Les substances qui leur communiquent cette odeur caractéristique sont principalement l'ammoniaque, l'hydrogène sulfuré et l'acide cyanhydrique. Les proportions en sont très variables. Elles oscillent, d'après nos analyses, entre les chiffres ci-après :

Ammoniaque $0^{gr},028$ à $0^{gr},530$ par litre.

Acide sulfhydrique $0^{gr},020$ à $0^{gr},600$ par litre.

Acide cyanhydrique $0^{gr},051$ à $0^{gr},102$ par litre.

On peut aisément, par quelques dosages rapides, déterminer la teneur d'une eau résiduaire d'usine en chacun de ces trois corps.

Le dosage de l'ammoniaque se fait soit par distillation, soit par *nesslérisation*, après précipitation de l'hydrogène sulfuré par l'acétate de plomb ou de zinc et élimination de l'excès de réactif par la solution de soude et de carbonate de soude.

Pour évaluer les sulfures et les cyanures, on fait d'abord, sur 100 centimètres cubes d'eau filtrée, un dosage volumétrique total avec une solution titrée d'iode correspondant à 1 milligramme d'acide sulfhydrique par centimètre cube. Soit A le nombre de centimètres cubes.

On traite 200 centimètres cubes d'eau par l'acétate de zinc qui précipite l'hydrogène sulfuré mais non l'acide cyanhydrique, au moins dans les limites des quantités contenues dans ces eaux (jusqu'à 1 gramme par litre). On filtre et on dose sur 100 centimètres cubes avec la même solution titrée d'iode et on note le nombre de centimètres cubes versés *B*.

10 (A — B) = les sulfures en milligrammes (en H^2S) par litre.

10 B × 1,529 = les cyanures en milligrammes (en CyH) par litre.

*
* *

Il y a un grand intérêt pour les industriels à désodoriser ces eaux, surtout afin de supprimer le plus grave inconvénient que présente l'emploi des moteurs à gaz pauvre, lesquels peuvent rendre de si grands services à la petite industrie.

Ces moteurs sont extrêmement répandus dans les villes manufacturières. Nous avons donc jugé utile de rechercher un moyen pratique de traiter leurs eaux de lavage des gaz, de manière à les rendre inoffensives pour l'odorat.

Les substances chimiques employées ordinairement pour la clarification des eaux d'égout, chaux, sulfate ferreux, sulfate ferrique, sulfate d'alumine, sont susceptibles de les améliorer parce qu'elles suppriment l'ammoniaque et l'hydrogène sulfuré, mais l'odeur très tenace et pénétrante de l'acide cyanhydrique persiste.

Le *chlorure de chaux*, au contraire, en solution récente, donne de bons résultats. On doit l'employer à dose variable suivant le degré d'impureté de l'eau de lavage; mais on peut fixer cette dose, en moyenne, à 1 kilogramme par mètre cube.

L'action du chlorure de chaux est complexe : le chlore décompose l'ammoniaque en produisant un dégagement d'*azote*; il oxyde l'hydrogène sulfuré en donnant de l'*eau* et un dépôt de *soufre*, et il transforme les cyanures en azote et acide carbonique. Tous les composés ainsi obtenus sont inoffensifs et inodores.

Contrairement à ce qui arrive par l'emploi de la plupart des réactifs chimiques pour l'épuration des eaux, l'excès de chlorure de chaux ne saurait être nuisible ; il sera même favorable à la désodorisation partielle des eaux d'égout.

E. Donath a récemment étudié [1] la purification des eaux de lavage des raffineries d'huile minérale. Il recommande de réunir les eaux alcalines et les eaux acides dans des cuves en bois doublé de plomb. On y fait arriver aussi celles qui proviennent de la condensation de la vapeur employée à l'entraînement des huiles servant au chauffage. Le mélange contient toujours un excès d'acide sulfurique. Les hydrocarbures en émulsion ou en suspension s'y séparent, et lorsque les particules huileuses se sont rassemblées à la surface, on transvase à l'aide d'un siphon le liquide sous-jacent, puis on neutralise celui-ci, soit avec un lait de chaux, soit par passage sur un lit de calcaire poreux. Dans le premier cas, le précipité formé par addition de lait de chaux entraîne mécaniquement les particules huileuses non décantées et se combine aux acides gras pour former des savons. Il se produit alors une sédimentation calcaire plus ou moins abondante, et l'eau, après avoir déposé, garde une assez forte odeur due à la mise en liberté des bases pyridiques contenues à l'état de sel dans le liquide acide.

Avec la seconde méthode, qui paraît préférable, on remplit simplement trois fosses de calcaire poreux et crayeux, et on fait circuler lentement les liquides dans chacune de ces trois fosses. La neutralisation totale ne s'effectue pas et les eaux restent légèrement acides, mais il n'y a pas de précipitation et si le débit du cours d'eau dans lequel on doit les rejeter est assez grand, cette faible acidité n'a pas d'inconvénients.

Si les eaux ainsi traitées conservent un peu de mauvaise odeur, il est facile de faire disparaître celle-ci par l'addition d'une petite quantité de chlorure de chaux, comme nous l'avons dit ci-dessus.

[1] *Oesterreichische Chemiker Zeitung*, X, 5, 1907.

CHAPITRE XXI

ÉPURATION DES EAUX RÉSIDUAIRES DE DISTILLERIES AGRICOLES DE BETTERAVES

Dans notre 2e volume (p. 260 et suivantes) nous avons exposé en détail les dispositifs qu'il convient d'adopter pour l'épuration biologique des eaux résiduaires de distilleries de betteraves.

Ces dispositifs ont été appliqués avec des résultats satisfaisants dans plusieurs usines, en particulier chez M. *Barrois-Brame*, à *Marquillies* et chez M. *Lesaffre*, à *Marquette* (*Nord*). Nous n'avons rien à y changer et les distillateurs qui ne disposent pas de terrains propres à l'irrigation ont certainement tout intérêt à les employer.

Sur la demande de M. *Dabat*, directeur au ministère de l'Agriculture et avec la collaboration de MM. les ingénieurs *Pélissier*, *Le Couppey de la Forest* et *Nacivet*, du service des Améliorations agricoles, nous avons étudié cette année un plan d'installation très simple pour une petite distillerie de la *Ferme de Champagne*, à *Juvisy* (Seine-et-Oise). Nous croyons utile d'en fournir ici la description parce qu'il peut servir de modèle à beaucoup d'autres installations du même genre.

Il s'agissait d'épurer seulement, avec un débit d'environ 10^{m^3} par 24 heures, un mélange de vinasses particulièrement concentrées et mélangées d'eaux de lavage de la ferme.

La surface du lit bactérien est de 20 mètres carrés. Il est alimenté par un unique réservoir de chasse de 500 litres de capacité, portant un siphon type *Geneste-Herscher* et déversant son contenu sous une pression de 50 centimètres, toutes les 30 minutes, dans un réseau de tuyaux parallèles en fer, per-

forés en quinconces à angle de 45°, de manière à assurer à la fois une répartition aussi égale que possible et une aéra-

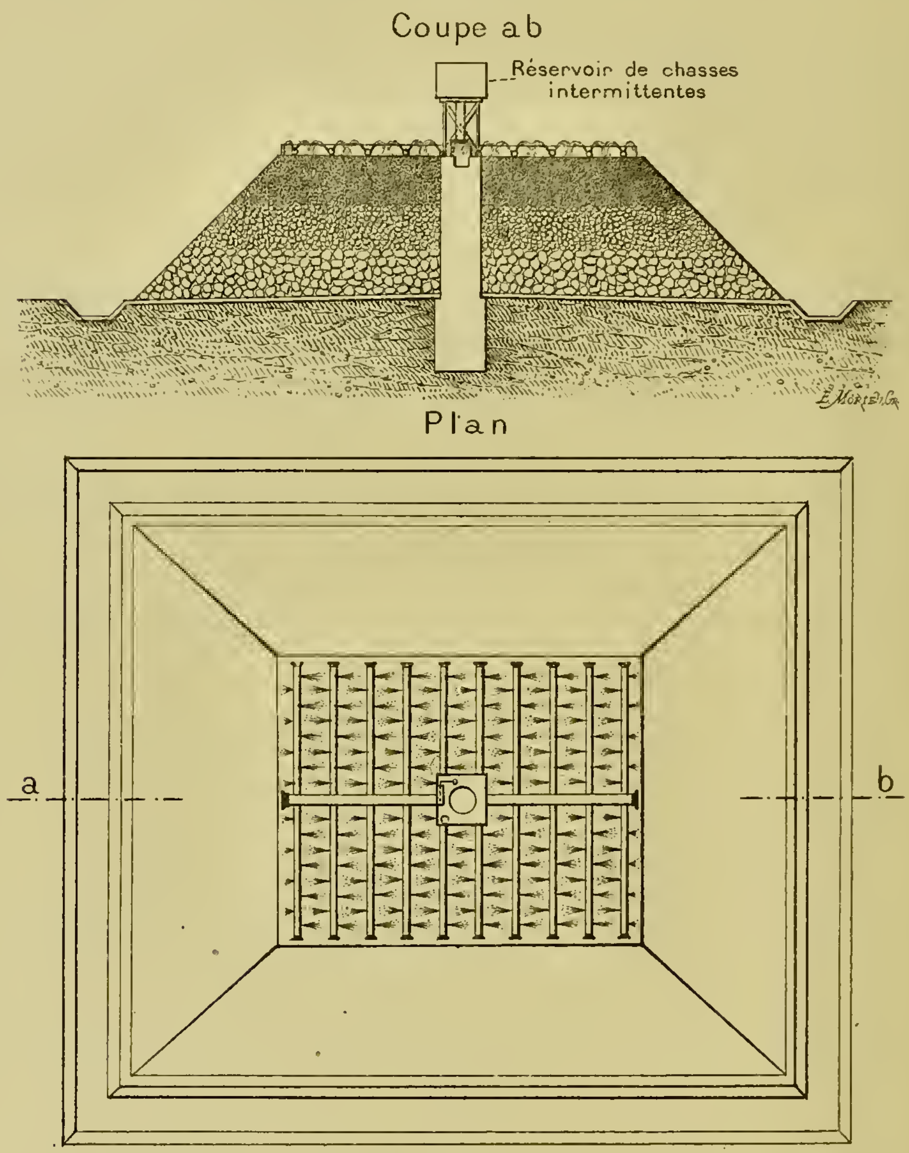


Fig. 57. — Lit bactérien pour l'épuration biologique des vinasses de distillerie de betteraves. (Plan d'une installation construite à la ferme de *Champagne*, à *Juvisy*, sur les indications du service des *Améliorations agricoles* du *Ministère de l'Agriculture*.)

Les vinasses diluées (suivant leur concentration) au 1/5 ou au 1/10 avec de l'eau ordinaire ou avec de l'eau de lavage de betteraves, sont amenées dans un bassin de décantation où elles subissent la fermentation alcaline, puis élevées dans un réservoir intermédiaire, d'où elles s'écoulent par gravitation, après réglage du débit, dans le réservoir de chasse automatique, puis sur le lit bactérien par pulvérisation.

tion convenable du liquide à épurer (*fig.* 57). Cet appareil a été construit par M. *Degoix*.

Le réservoir de chasse repose sur un massif central en briques, et le lit bactérien, formé de scories, est simplement disposé en talus sur 2 mètres de hauteur.

Ce mode de construction est assurément le plus économique.

Les résultats du fonctionnement de ce lit ne nous sont pas encore connus, car il vient seulement d'être mis en service. Mais si les eaux résiduaires qu'on doit y traiter sont neutres ou légèrement alcalines et convenablement diluées, il n'est pas douteux qu'on doive en obtenir toute satisfaction.

CHAPITRE XXII

ÉPURATION PHYSICO-CHIMIQUE (SYSTÈME VIAL, DE BRUXELLES)

Ce système d'épuration a été récemment proposé par M. *Vial* pour le traitement des eaux d'égout, à la suite d'expériences effectuées à *Haren*, près de *Bruxelles*.

Il est basé sur l'action précipitante d'une substance chimique quelconque (chaux ou autre réactif approprié à la nature des eaux) et sur une méthode spéciale de décantation qui présente seule quelque originalité. En voici la description d'après le rapport de M. le Dr *Henseval*, directeur du laboratoire du service de santé et d'hygiène au ministère de l'agriculture de Belgique :

Les bassins dans lesquels s'effectue la décantation sont formés de deux parties : la poche à boues et le bassin de clarification.

La décantation s'effectue en marche continue : une lame de liquide de quelques centimètres d'épaisseur parcourt tout le bassin avec une vitesse de 2 mètres environ par minute, en glissant sur une masse d'eau immobilisée par des cloisons sans qu'il s'y produise ni remous ni courants internes; pendant ce temps elle abandonne toutes ses matières en suspension. L'eau reste ainsi le moins possible en contact avec les matières précipitées.

Celles-ci s'accumulent particulièrement en deux endroits du bassin; de là elles sont enlevées par une pompe, en mélange avec beaucoup d'eau, et envoyées dans un grand récipient où elles se déposent. Elles sont concentrées ensuite dans un appareil spécial dit « concentreur », qui est une espèce de filtreur : les boues liquides arrivent sous une pression de 3 ou 4 mètres, obtenue par différence de niveau, dans une cuve renfermant des tubes en toile serrée; les matières

solides sont retenues et s'amassent dans l'appareil, tandis que l'eau est évacuée à l'intérieur des tubes vers un conduit central. Les boues sortent de cet appareil à l'état pâteux, ne renfermant plus que 70 à 80 pour 100 d'eau. Elles sont ensuite séchées par un procédé indéterminé.

On traite à *Haren* sur une très petite échelle, et seulement pour expériences, des eaux d'égout provenant du collecteur de *Bruxelles*. Ces eaux renferment une proportion de matières en suspension de $0^{gr},288$ à $1^{gr},560$ par litre; celles-ci contiennent de 26,9 pour 100 à 57,1 pour 100 de matières organiques et de 73,1 pour 100 à 42,9 pour 100 de matières minérales.

La quantité de matières en solution varie de 0,700 à 1,090 par litre, on y trouve de 34,5 à 42,9 pour 100 de matières organiques, et de 65,5 à 57,1 de matières minérales.

L'oxydabilité au permanganate en milieu alcalin oscille de 55 à 66,2 milligrammes; en milieu acide, de 52,6 à 59 milligrammes.

L'alcalinité du sewage, évaluée en CaO, est de $0^{gr},126$ à $0^{gr},372$.

La quantité d'eau d'égout traitée lors des expériences du Dr *Henseval* était de 25 à 34 mètres cubes à l'heure. On utilisait pour la précipitation de 250 grammes à 1 kilog. de chaux éteinte par mètre cube (cette chaux à l'analyse donnait 67 à 68 pour 100 de CaO).

La quantité de boue produite variait suivant la concentration du sewage et suivant la quantité de réactif employé.

Pour 288 grammes de matières en suspension, on obtenait 595 grammes de boues (pesées à l'état sec) par mètre cube. Lorsqu'il y avait $1^{k},500$ de matières en suspension, la proportion des boues s'élevait à $2^{k},142$ par mètre cube.

Leur valeur est assurément très minime. Elles renferment seulement :

Azote ammoniacal $0^{gr},085$ au maximum pour 100 de matières sèches.

Azote organique $1^{gr},762$ id.

Acide phosphorique $0^{gr},85$ id

Soit pour environ 1 fr. 85 de matières fertilisantes (dans les cas les plus favorables, c'est-à-dire avec le sewage le plus concentré) par 100 kilogrammes de matière sèche.

Les décanteurs *Vial* permettent incontestablement d'obtenir une eau bien débarrassée de matières en suspension et, si la quantité de réactif ajoutée est suffisante, une partie des matières en solution est également précipitée. Mais il reste toujours dans l'effluent une importante proportion d'azote albuminoïde et d'ammoniaque, de sorte qu'on ne peut pas le considérer comme réellement *épuré*.

Il ne pourrait être rejeté dans les rivières qu'à la condition d'être traité ultérieurement sur des lits bactériens. Encore n'est-il pas sûr que ce traitement conduise à des résultats satisfaisants, en raison de l'alcalinité excessive des eaux additionnées d'une si grande quantité de chaux.

L'emploi de ce système ne paraît en aucune manière pouvoir convenir aux villes, d'abord parce qu'il est extrêmement onéreux, en raison surtout des dépenses de réactifs et de main-d'œuvre, et ensuite parce que, loin de solutionner favorablement le problème des boues, il l'aggrave en accroissant le volume de celles-ci ainsi que les difficultés de leur manutention.

CHAPITRE XXIII

ÉPURATION PHYSICO-BIOLOGIQUE (PROCÉDÉ ARMAND PUECH)

M. *Puech* (de *Mazamet*, *Tarn*), qui a préconisé avec un légitime succès un système aujourd'hui bien connu de filtration des eaux potables à travers des séries successives de filtres dégrossisseurs, afin d'éviter le colmatage trop rapide des filtres à sable, s'est proposé d'épurer les eaux d'égout par un procédé analogue.

En séparant mécaniquement les matières solides par des filtres dégrossisseurs, il espérait accroître dans d'énormes proportions le pouvoir épurant des terrains d'épandage et affirmait être en mesure de traiter sans difficultés plus de 1 000 000 de mètres cubes par hectare et par an au lieu des 40 000 mètres cubes que tolère la loi pour l'irrigation culturale à Achères, Gennevilliers, Carrières-Triel et Méry-Pierrelaye.

M. *Puech* fut autorisé par le département de la Seine à faire l'essai de son système sur les terrains d'épandage de Créteil, du 9 mars au 25 mai 1905.

Les bassins dégrossisseurs, installés à l'usine de la rue du Pont à *Alfortville*, reçurent des quantités d'eau d'égout variant de 272 mètres cubes, chiffre le plus bas, à 405 mètres cubes, chiffre le plus élevé, par 24 heures, soit 332 mètres cubes en moyenne.

A leur sortie de ces bassins, l'eau était épandue, sur une superficie de 1500 mètres carrés environ, dans un champ divisé en 3 secteurs alternativement desservis, l'un de 6 heures du matin à 2 heures après-midi, le second de 2 à 10 heures du soir, le troisième de 10 heures du soir à 6 heures du matin.

Pendant les deux mois et demi d'essais officiels, l'épandage fut donc pratiqué à raison de 2213 mètres cubes par

hectare et par jour, ce qui correspond à 807 745 mètres cubes par hectare et par an.

On ne tarda pas à constater d'abord que les filtres dégrossisseurs se colmataient très vite, d'où nécessité de procéder à des nettoyages fréquents, ce qui exigeait l'envoi de boues liquides en pleine fermentation et à odeur forte sur une parcelle spécialement aménagée. Le cube de boues retenues atteignait 900 grammes par mètre cube et par jour. Il eût donc fallu, pour épurer 100 000 mètres cubes par jour avec ce système, compter avoir à enlever près de 90 tonnes de boues, c'est-à-dire 9 wagons.

M. *Puech* croit qu'il est facile de se débarrasser de ces boues, soit en les laissant sécher sur le sol, soit en les brûlant. Mais nous savons, par les nombreuses expériences déjà faites à ce sujet en Angleterre et en Allemagne, combien, avec l'un ou l'autre de ces systèmes, on éprouve de difficultés.

D'autre part, les résultats de l'épuration se montrèrent défectueux. On observait, il est vrai, un accroissement notable des proportions d'azote ammoniacal de l'entrée à la sortie des filtres dégrossisseurs (de 6 à 21 milligrammes par litre) — ce qui indique qu'ils remplissent quelque peu le rôle des fosses septiques, — mais au sortir des drains des secteurs d'épandage, l'eau, toujours louche et trouble, contenait une proportion de matière organique au moins double de celle contenue dans l'eau de Seine à *Ivry*, et elle renfermait en outre presque toujours de l'azote ammoniacal, avec fort peu de nitrates.

Au point de vue microbien, d'après la convention passée entre le département de la Seine et M. *Puech*, l'eau épurée sortant des terrains d'épandage ne devait contenir qu'un chiffre de bactéries égal ou inférieur à celui de l'eau de Seine (en l'espèce moins de 50 000). Elle en accusa toujours beaucoup plus : de 244 000 à 2 800 000, et en moyenne 969 915 tandis que celle de la Seine pendant la période d'essais était de 27 550.

On voit donc que l'épandage intensif avec des eaux filtrées par les dégrossisseurs ne paraît pas susceptible de donner des résultats satisfaisants au point de vue de l'épuration.

Telle a été, d'ailleurs, la conclusion des experts du département de la Seine.

Le système *A. Puech* est assurément très avantageux lorsqu'on l'applique à la filtration des eaux potables, mais nous croyons que c'est une grave erreur de vouloir l'adapter à l'épuration des eaux d'égout. Les simples fosses septiques seront toujours moins onéreuses à construire que les filtres dégrossisseurs, en admettant que ceux-ci jouent le même rôle; l'évacuation des boues qui y résistent aux actions fermentatives en est infiniment plus facile; et c'est vouloir compliquer le problème que de leur substituer une série de bassins garnis de cailloux ou de graviers qu'il faut nettoyer à chaque instant.

CHAPITRE XXIV

LES PROGRÈS DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE EN FRANCE

Quoique plus lentement qu'en Allemagne, qu'en Amérique et surtout qu'en Angleterre, l'épuration biologique attire et retient maintenant en France l'attention des ingénieurs et des hygiénistes publics.

Un grand nombre de projets d'installations importantes ont été dressés. Plusieurs sont en voie d'exécution et la plupart des villes qui se préoccupent de réaliser leur assainissement sollicitent nos conseils pour les guider dans le choix du système qui peut répondre le mieux à leurs besoins.

Le moment est donc venu pour les pouvoirs publics de songer à créer dans notre pays un organisme analogue à la station officielle d'études et d'essais que l'Allemagne a créée à *Berlin* et que nous décrirons dans un prochain chapitre. L'intervention de cet organisme s'impose, non seulement pour éclairer les municipalités ou les particuliers sur le choix des procédés ou appareils les plus capables de leur donner satisfaction suivant la nature des eaux d'égout qu'il s'agit de traiter, mais encore et surtout pour examiner les projets dressés par les services publics ou par les différents constructeurs et pour surveiller leur bonne exécution ainsi que leur fonctionnement.

A l'heure actuelle, les villes ne disposent d'aucun moyen de s'assurer que les projets qu'elles dressent elles-mêmes ou qu'elles font dresser par des architectes ou des ingénieurs sanitaires présentent toutes les garanties désirables. Et si, comme le fait s'est déjà produit trop souvent, les projets exécutés se montrent défectueux, elles ne possèdent aucun moyen de contrôle.

Il faudrait donc qu'avant et après avoir été soumises à

l'approbation du Conseil supérieur d'hygiène, toutes les installations d'épuration d'eaux d'égout *projetées* ou *créées* soient placées sous la surveillance d'un laboratoire officiel dont le personnel comprendrait non seulement des bactériologistes et des chimistes, mais aussi des ingénieurs et des géologues.

On verra plus loin, en lisant les documents que nous publions en annexe du présent volume, que le gouvernement de la République a déjà envisagé la nécessité d'une organisation de ce genre, et que, dans une communication faite par M. *Dabat*, directeur de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles, devant la Commission instituée par décret du 25 mars 1907 au ministère de l'Agriculture pour sauvegarder l'utilisation des eaux qui ne font pas partie du domaine public, il est question de créer un Institut spécial ayant des attributions semblables à celles du *Versuchs und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung* de Berlin.

*
* *

Parmi les villes françaises qui ont déjà commencé la construction ou adopté des projets d'épuration d'eaux d'égout par le système biologique, nous citerons *Toulon*, *Gap*, *Saint-Etienne*, *Lyon*, *Mâcon*, *Dijon*, *Alençon*, *Saint-Malo*, *Biarritz*, *Lille* et surtout le *département de la Seine* dont le Conseil général, par délibération du 5 juillet 1905, a décidé l'exécution au *Mont-Mesly*, sur le territoire de *Créteil*, d'installations nécessaires pour épurer un volume de 10 800 mètres cubes par jour. Ces dernières doivent être achevées très prochainement et seront en mesure de fonctionner au commencement de 1908.

Sur le rapport de M. *Parisot*, conseiller général, et sur la proposition de M *de Selves*, préfet, le département de la Seine vient en outre d'élaborer tout un programme d'assainissement de la Seine et de la Marne, ayant pour objet d'assurer la construction de lits bactériens suffisamment vastes, à *Achères* d'une part, au *Mont-Mesly*, puis à *Saint-Ouen* d'autre part, pour épurer la totalité des eaux d'égout départementales dont une grande partie est actuellement déversée en Seine, les champs d'épandage de Créteil et ceux de la ville de Paris étant insuffisants pour les recevoir.

La ville de Paris prépare elle-même des projets analogues.

Elle s'y trouve obligée par ce fait qu'il lui devient difficile ou extrêmement onéreux de se procurer des terrains propres à l'épandage. Ceux dont elle dispose ont une surface utilisable de 5500 hectares. Or il lui faudrait déjà, pour répondre à ses engagements (et épurer les eaux départementales qu'elle reçoit), 9275 hectares.

Dans quinze ans, lorsque le tout-à-l'égout sera généralisé, il lui faudra 14 825 hectares, c'est-à-dire une surface égale au tiers de la surface totale du département (48 500 hectares).

Il est donc impossible de songer à augmenter sensiblement les étendues de terrains consacrées à l'épandage, et les procédés biologiques dussent-ils donner des résultats moins parfaits, on sera bien forcé d'y avoir recours.

Tout le monde conviendra, d'ailleurs, qu'il vaudrait mieux, dès maintenant, pouvoir épurer *même imparfaitement* la totalité des eaux d'égout actuellement fournies par l'ensemble des émissaires du département et de la ville, plutôt que de rejeter en Seine ou en Marne 90 000 000 de mètres cubes d'eaux d'égout *brutes* par an, comme on le fait aujourd'hui.

Cette seule considération est de nature à entraîner la conviction de ceux-là même qui ne renoncent qu'à regret à abandonner les idées qui leur sont chères sur l'*utilisation agricole des eaux d'égout*.

*
* *

Nous croyons inutile de donner ici la description des projets dressés ou adoptés par les diverses villes françaises que nous avons citées plus haut.

Nous nous bornerons à exposer les plans d'ensemle de quelques-uns d'entre eux seulement, parmi ceux qui représentent un *type* qui peut servir de modèle à d'autres villes placées dans des conditions analogues.

Le premier de ces types (*Toulon*) applique le système des lits bactériens à double contact, avec déversement de l'effluent à la mer.

Le deuxième (*Mâcon*), qui attend l'approbation du Conseil supérieur d'hygiène, réalisera exactement le dispositif que nous avons expérimenté à la Madeleine et qui est celui des

lits bactériens percolateurs, avec déversement de l'effluent dans la Saône.

Le troisième, simplement à l'état d'avant-projet, se rapporte à *Lyon*. Il propose seulement une épuration incomplète (sauf aux époques de basses eaux du Rhône) en raison de l'énorme débit du grand fleuve dans lequel l'effluent devra être rejeté.

Le quatrième enfin, celui de *Lille*, est en voie d'exécution et présente un intérêt particulier en raison de ce fait qu'on épurera d'abord les eaux résiduaires de l'abattoir avec celles du quartier avoisinant.

I. **Plan d'épuration des eaux d'égout de la ville de Toulon** (¹), exécuté par MM. *Valabrègue* et *Maliquet*, ingénieurs à Toulon.

Ce plan est basé sur le système séparatif. Il comprend :

1° Pour les eaux-vannes, l'évacuation par canalisations (surtout en grès) à moyenne ou à faible section, avec épuration biologique par fosses septiques et lits bactériens à double contact;

2° Pour les eaux de pluie et les eaux industrielles non polluées, l'évacuation directe à la mer, à ciel ouvert, par ruisseaux ou caniveaux déjà existants.

Les raisons qui ont fait adopter le système séparatif méritent d'être indiquées. Nous reproduisons à ce sujet le rapport du *Dr Péraldi* au Congrès de Climatologie et d'Hygiène urbaine de Nice, Cannes, Menton et Ajaccio (avril 1907).

« Le système unitaire, avec ses conduites en maçonnerie, représentait une dépense globale fantastique. Le prix de revient, par habitant, dans les faubourgs à population clairsemée, eût été énorme, et le partisan le plus convaincu du système unitaire n'eût jamais pu affirmer que l'augmentation des charges budgétaires eût été exactement compensée par une augmentation proportionnelle d'assainissement. Cet argument seul suffisait pour écarter tout projet de système unitaire. D'ailleurs, toute une partie de la ville proprement dite, construite sur la mer, repose sur des pilotis. C'est justement la partie où la population est le plus dense et où un grand col-

(¹) D'après les documents qui nous ont été obligeamment communiqués par M. VALABRÈGUE et par le docteur PÉRALDI, médecin du Bureau d'hygiène de Toulon.

lecteur eût été rigoureusement nécessaire. Pour établir les canalisations actuelles (diamètre intérieur de 0m,60) il a fallu travailler dans l'eau durant plusieurs mois; qu'aurait-ce été quant au grand collecteur en maçonnerie avec des conditions aussi désavantageuses! Pareilles difficultés furent aussi rencontrées dans certains points des faubourgs, où la nappe d'eau souterraine, très abondante, était à une faible profondeur et a exigé de longs et pénibles travaux sous les pompes et pour installer de toutes petites canalisations de grès qu'on n'avait, pour ainsi dire, qu'à déposer au fond de leur tranchée.

« Le régime des pluies lui-même aurait difficilement comporté un système unitaire. Il présente en effet de très larges oscillations de pluie et de sécheresse avec des ascensions brusques, rappelant par leur soudaineté et leur abondance, les *grains* classiques des pays chauds. Il est courant de voir la circulation interrompue dans le bas de la ville par de véritables inondations; comment se prémunir contre des accroissements aussi brusques de débit dans le système unitaire? Et, de nouveau, quel surcroît de dépenses pour la construction de bassins d'orages, peut-être insuffisants les jours de grande pluie ou bien inutilisés durant les longs mois de sécheresse!

« Enfin, pourquoi, pour les eaux de pluie comme pour les eaux propres de la rue, ne pas utiliser le déversement à la rade? La ville, en amphithéâtre, assure par la pente rapide de ses rues la prompte évacuation de masses d'eau, même considérables. Et, si l'éloignement des côtes battues par la mer du large a rendu impossible le jet de toutes nos eaux-vannes à la grande mer, profitons au moins de cette petite mer qu'est notre rade pour évacuer vivement et à bon compte nos eaux non polluées. Donc, en envisageant d'une part les exigences financières et les difficultés matérielles de réalisation du système unitaire, et de l'autre l'obligation absolue qui s'imposait aux Toulonnais de laver enfin leur cité de sa malodorante réputation, le système séparatif de Toulon ne supprimera pas le ruisseau, mais il va l'assainir. »

Nous étudierons successivement :

I. Les canalisations;

II. L'épuration des eaux-vannes à la station de Lagoubran.

La circulation dans le réseau est assurée par gravité avec

relèvements mécaniques successifs, toutes les fois qu'on atteint un point bas déterminé. Ces relèvements sont effectués par des pompes élévatoires à amorçage automatique.

1. — Canalisations.

La longueur totale des canalisations atteint 76 kilomètres se décomposant d'après les matériaux qui les constituent comme suit :

a. Canalisations en grès : 70 000 mètres;

b. Canalisations en ciment armé : 4 850 mètres;

c. Canalisations en fonte : 1 200 mètres.

a. Les canalisations en grès, utilisées presque exclusivement dans tout le réseau proprement dit d'égouts, sont constituées par des cylindres en grès vernissé provenant pour la plus grande partie de l'usine *Valabrègue* à *Bollène* et d'autres usines françaises : cylindres à gorge et à collet de $0^m,60$ de long et de diamètres variables suivant l'importance des voies desservies. Il existe sept types de tuyaux, de diamètres allant de 5 en 5 centimètres, depuis $0^m,20$ jusqu'à $0^m,50$.

L'épaisseur de leurs parois est de $0^m,025$ en moyenne et leur résistance à la pression varie avec leur diamètre.

Les tuyaux ont tous été éprouvés à une pression de 2 kilogrammes par centimètre carré.

Collets et gorges sont réunis par du ciment, qui donne instantanément à l'ensemble de la canalisation une rigidité et une étanchéité parfaites.

Les raccordements sont prévus pour les maisons à desservir par des tuyaux en Y pourvus d'un bouchon en grès cimenté.

b. Les canalisations en ciment armé constituent essentiellement le grand collecteur. Les cylindres qui les composent ont en moyenne 3 mètres de long et des diamètres de $0^m,60$ à $0^m,80$. Ils sont raccordés l'un à l'autre par des manchons de ciment armé. Presque sur tout le parcours du grand collecteur les canalisations sont jumellées, de manière à parer à toute éventualité de nettoiement ou d'indisponibilité due à une cause quelconque.

c. Les canalisations en fonte, destinées soit aux conduites de refoulement qui supportent des pressions considérables,

soit à la traversée des voies ferrées, canaux ou rivières, sont constituées par des tuyaux de fonte à emboîtement et cordon joint au plomb.

Les canalisations, quelle que soit leur construction, sont installées au fond de tranchées et suivant un mode variable avec la nature du terrain. Dans les terrains secs, les tuyaux reposent au fond de la tranchée sur une simple rangée de briques destinées à assurer la régularité de pente et servant en quelque sorte de semelle à la conduite qui repose sur elles. Dans les terrains humides ou au-dessous du niveau de la mer, la canalisation repose sur une planche de ciment armé au-dessous de laquelle sont parfois deux tuyaux de drainage entourés de gravier et qui ont été utilisés durant la construction pour les pompes d'épuisement [1]. Les profondeurs maxima atteintes ont été de 7^m,50 au-dessous du sol. Les profondeurs minima de 1^m,50. La profondeur générale moyenne au radier de 2 mètres.

Enfin, détail qui a sa valeur pratique, certaines canalisations ont été établies à 3^m,50 au-dessous du niveau de la mer.

Les tuyaux, mis en place et scellés, sont entourés de déblais provenant du terrassement, soigneusement choisis, et régulièrement tassés.

La visite, la surveillance et le nettoiement des canalisations sont assurés par des *regards*, placés à 50 mètres environ l'un de l'autre, affectant la forme d'une pyramide quadrangulaire ayant sa base au niveau du radier et son sommet tronqué au niveau de la rue. Ils sont bouchés par une plaque de fonte.

Le mode de nettoiement prévu, en dehors de la pression des réservoirs de chasse, consistera dans le ramonage des tuyaux à l'aide de balais spéciaux, dont les cordes de traction seront amorcées soit par flotteurs, soit par petits chiens spécialistes.

Chaque tronçon de canalisation, après isolement entre deux batardeaux, a été rempli d'eau, avant tout remblaiement de la tranchée. Il a été dressé procès-verbal de cette épreuve d'étanchéité par les services du contrôle municipal.

[1] Grâce à cet artifice, les canalisations ont été placées sur un terrain parfaitement sec.

II. Épuration

Le débit du grand collecteur, à l'arrivée à l'usine épuratoire, a été calculé sur les bases suivantes :

Les eaux ménagères et de toilette représentent une moyenne de 1 litre 5 centilitres par seconde et par 1 000 habitants. Le débit par vingt-quatre heures sera donc pour 1 000 habitants de : $60 \times 60 \times 24 \times 1,5 = 112\,320$ litres, soit pour 100 000 habitants de 11 000 mètres cubes environ. La capacité totale des fosses septiques et des lits bactériens de premier et de second contact a été établie pour un débit de 12 000 mètres cubes. Ce volume considérable ne représente qu'un maximum qu'on ne réalisera pas immédiatement.

L'épuration biologique comprendra à la station d'épuration bactérienne de Lagoubran :

A. L'épuration anaérobie en fosses septiques closes;

B. L'épuration aérobie sur lits bactériens étanches de premier et de second contacts.

A. **Épuration anaérobie, fosses septiques.** — L'épuration anaérobie sera réalisée dans des fosses septiques de dimensions différentes en ciment, à voûte de ciment armé, soutenue par des colonnes toujours de ciment armé.

Les fosses septiques, au nombre de trois, cubent respectivement 2100, 3500, 6600 mètres cubes, soit au total 12 200 mètres cubes.

Les eaux résiduaires, dont le débit est réglé par des vannes, arrivent d'abord dans une *fosse à sable* de décantation pour les matériaux lourds (qui sont enlevés directement), et passent ensuite dans un canal de distribution qui borde les fosses septiques (*fig.* 58).

L'arrivée et la décantation définitives se font, dans les fosses septiques, dans une sorte de chambre antérieure limitée par une chicane supérieure et un mur inférieur. Le plancher de cette chambre a une pente de $0^{m},50$.

A la sortie des fosses, une chicane empêche complètement toute arrivée d'air par la fente du déversement.

La durée du séjour prévue pour les eaux-vannes soumises à l'épuration anaérobie en fosses septiques est de vingt-quatre

heures. L'écoulement du contenu des fosses septiques se fera lentement par déversement, par une fente parallèle à la ligne de voûte des fosses. Les matières déjà partiellement épurées s'étaleront en une cascade qui les conduira dans le canal de distribution qui borde les lits bactériens du premier contact.

Les gaz provenant des fosses septiques sont recueillis par des drains au-dessus de la voûte des fosses septiques, canalisés sur un brûleur et évacués par une grande cheminée.

B. **Épuration aérobie. Lits bactériens à deux contacts.** — Les lits bactériens, qu'ils soient de premier ou de deuxième contact, ont une capacité moyenne de 1000 à 1200 mètres cubes pour une longueur de 70 à 80 mètres, une largeur de 15 mètres et une profondeur de $1^m,20$ à $1^m,50$. Entièrement cimentés, ils présentent une pente totale de $0^m,50$ répartie régulièrement sur toute leur longueur et allant du canal de distribution au canal d'évacuation. Le fond du lit est constitué par des rigoles de circulation dont les drains occupent les angles ouverts en haut, concaves. Les drains sont constitués par des briques mises à plat et supportant des planches en ciment armé. Le drain a $0^m 45$ de large et $0^m 12$ de haut (*fig.* 59).

La communication entre le canal de distribution et les lits, la répartition des eaux-vannes à la surface de ces lits se font par des distributeurs d'*Adams*.

Pareillement, l'évacuation des eaux partiellement ou totalement épurées des lits de premier et de deuxième contact sur le canal d'évacuation se fait par un siphon d'*Adams*. La durée de l'oxydation sur chaque lit bactérien sera de deux heures.

L'installation d'épuration bactérienne de Lagoubran présente en somme tous les caractères généraux des installations similaires existant avec deux contacts (*Sutton*, *Madeleine-lez-Lille*). Il est cependant deux caractères particuliers qui méritent une mention spéciale : c'est d'abord le déversement en cascade du contenu des fosses septiques permettant une oxydation massive et immédiate des eaux partiellement épurées : c'est ensuite la substitution presque complète des calcaires aux scories dans la constitution des matériaux filtrants et oxydants des lits de contact.

Primitivement, on devait, à Lagoubran comme ailleurs,



Fig. 58. — Station d'épuration biologique par lits de contact, à *Lagoubran*, pour la ville de Toulon. (Vue prise au-dessus des fosses septiques.)

utiliser exclusivement des scories, mais au moment de réaliser cette partie du projet, on se heurta à l'impossibilité matérielle absolue d'en recueillir sur place ou dans le voisinage immédiat, des quantités suffisantes pour assurer le service des lits bactériens. C'est donc contraints et forcés que les entrepreneurs et les pouvoirs publics durent rechercher des matériaux susceptibles de jouer le même rôle dans les lits bactériens de premier et de deuxième contact. Les matériaux adoptés sont les pierres calcaires vulgaires constituant le ballast de la plupart des voies ferrées ou utilisées pour le chargement des routes.

Ces calcaires ont été concassés par des concasseurs spéciaux suivant cinq dimensions différentes, les diamètres oscillant de 3 à 5 millimètres, de 5 à 15 millimètres, de 15 à 25 millimètres, de 25 à 55 millimètres, de 50 à 80 millimètres.

Les lits de premier et de deuxième contact contiennent en outre, en superficie, du sable quartzeux dont les diamètres sont de 3 à 5 millimètres.

Enfin, sur les seuls lits de deuxième contact, on a mis une couche de scories de $0^{m},20$ de haut, comprise entre deux couches de sable quartzeux.

L'évacuation des eaux épurées se fera par une conduite spéciale parallèle à la Rivière Neuve, en petite rade.

Le devis estimatif des travaux s'élève à 1162 000 francs.

*
* *

II. — **Plan d'épuration des eaux d'égout de la ville de Mâcon** (projet présenté par M. *A. Degoix*, ingénieur). — Les eaux à épurer sont amenées par un égout collecteur *unitaire* qui existe actuellement et recueille les eaux pluviales, ménagères, etc....

Le volume à épurer par jour en temps normal est de 3000 mètres cubes. En temps de pluies ce volume peut s'élever à 30000 mètres cubes et davantage.

Le projet comporte :

1° L'épuration journalière de 3000 à 4500 mètres cubes.

2° Au delà de cette quantité, en temps de pluie, le premier lavage des rues étant effectué par les eaux de ruissellement et

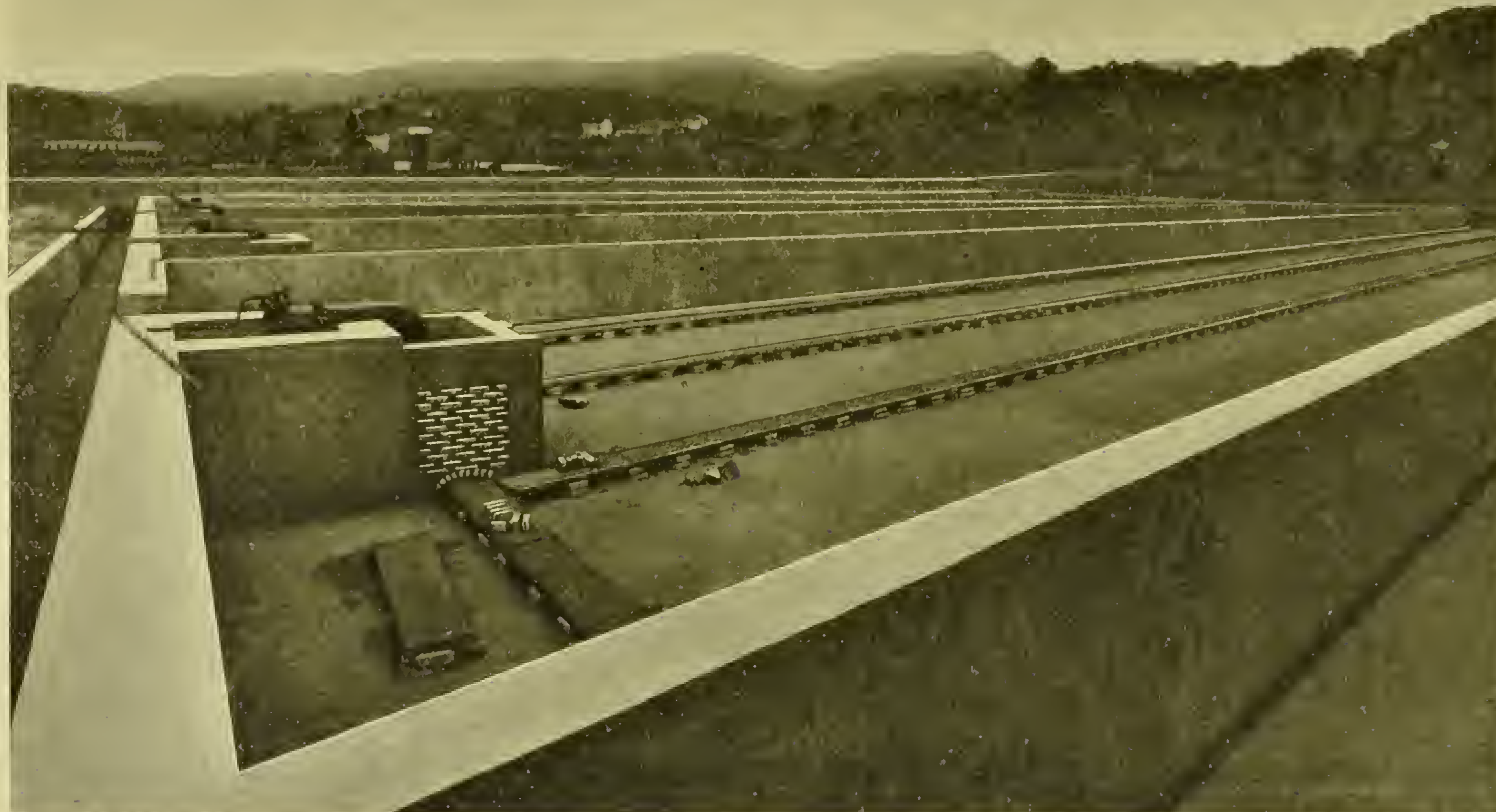


Fig. 39. — Lits bactériens de contact à la station de *Lagoubran*, *Ville de Toulon*.
(Siphons automatiques d'Adams et dispositif de drainage. Vue prise avant la mise en place des matériaux filtrants du lit.)

la dilution des eaux résiduaires étant suffisante, le surplus est envoyé directement sur un lit bactérien d'*orage* jusqu'à concurrence de 4500 mètres cubes par jour, soit un volume total épurable de 9000 mètres cubes, au delà duquel on peut considérer que les eaux résiduaires, en raison de leur extrême dilution, doivent être déversées directement en Saône.

Le niveau du radier de l'égout collecteur actuellement existant étant le même que celui de la Saône ($169^{m},61$), il devient nécessaire de relever les eaux au point terminus choisi pour la station. Les diverses phases de l'épuration s'accompliront alors automatiquement (voir *fig.* 40).

A proximité de l'extrémité de l'égout collecteur *m* une dérivation de celui-ci aboutit à une fosse à sable *a a*. Celle-ci est divisée en deux compartiments afin d'en faciliter le nettoyage.

Au sortir de la fosse à sable, les eaux d'égout se rendent dans un bassin de réception *b*, d'où elles sont ensuite puisées par les appareils élévatoires pour être dirigées vers la *fosse septique dd* ou, le cas échéant, vers le *lit d'orage gg*. Un déversoir *n* est ménagé afin qu'en temps de fortes pluies l'excédent puisse s'écouler directement en Saône par l'ancien canal.

La chambre des appareils élévatoires *b* est installée à proximité, ces appareils étant en charge, afin d'assurer un amorçage permanent. La salle des machines pour la production de force motrice est installée au-dessus du bassin de réception.

La fosse septique *d* est disposée de telle sorte que les eaux résiduaires puissent y séjourner environ 24 heures. A sa sortie, les eaux passent à travers un filtre à scories *z* et s'écoulent dans le caniveau qui alimente les siphons percolateurs *f*, *f*, *f*, *f*... et se répandent par intermittences sur les lits bactériens *e e*, *e e* qu'elles traversent pour s'épurer.

Elles sont ensuite recueillies dans les caniveaux de sortie *p*. pour être rejetées, soit directement en Saône, soit dans l'aqueduc après le trop-plein, en aval de la chambre à sables.

En temps de pluies persistantes, un volume journalier supplémentaire de 4500 mètres cubes, comme il a été dit précédemment, serait envoyé sur le lit filtre d'orage *g* par le caniveau *l*.

On a tenu compte des crues possibles de la Saône en éla-

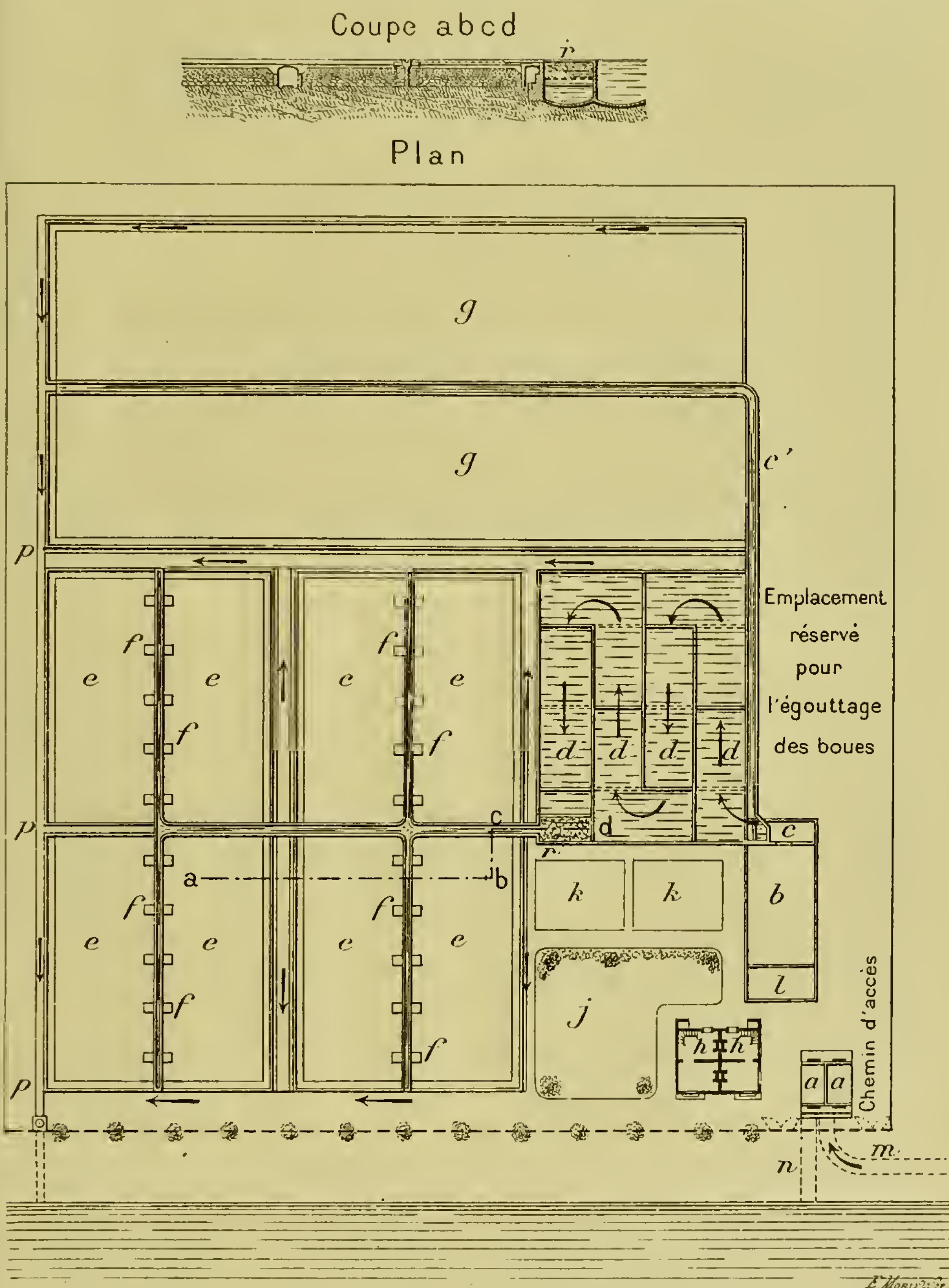


Fig. 40. — Ville de Mâcon. Épuration biologique des eaux d'égout, 3000 m^3 par jour.

aa	Fosses à sable.	*j*	Pelouse.
b	Machine élévatoire.	*kk*	Jardins.
c	Laboratoire.	*l*	Charbon.
dd	Fosses septiques.	*m*	Aqueduc d'amenée des eaux.
ee	Lits bactériens.	*n*	Déversoir.
ff	Réservoirs de chasse.	*p*	Écoulement des eaux épurées.
gg	Lits d'orage.	*r*	Filtre.
hh	Habitation du personnel.		

blissant le fond des lits bactériens à la cote 173,50 (hauteur du quai).

L'installation est complétée par l'établissement de divers bâtiments accessoires : deux logements pour ouvriers *k*, un laboratoire de bactériologie *c*, hangar, etc....

La superficie totale du terrain, y compris le lit d'orage, les chemins d'accès, l'emplacement réservé pour l'égouttage des boues, etc..., est de 12000 mètres carrés.

Le devis d'ensemble comprenant la machinerie, les bâtiments et les lits bactériens s'élève à 171 000 francs.

Les frais d'entretien annuels (personnel, laboratoire et force motrice compris) sont prévus à 8400 francs, soit, par jour, 23 fr. 01 pour une moyenne de 4000 mètres cubes d'eau épurée, ce qui fait ressortir le prix du mètre cube d'eau épurée à 0 00575, ou 5 fr. 75 par 1000 mètres cubes.

* * *

III. — **Avant-projet d'Assainissement de Lyon**, par MM. *Launay*, *Calmette* et *Imbeaux*. — Les soussignés, *Launay*, ingénieur en chef des ponts et chaussées, à Paris, docteur *Calmette*, directeur de l'Institut Pasteur de Lille, et docteur *Imbeaux*, ingénieur en chef des ponts et chaussées de la ville de Nancy.

S'étant réunis à Lyon les 11, 12 et 13 mai 1907 pour étudier, suivant la demande de M. le Maire, la situation de cette ville au point de vue des vidanges et eaux usées, et arrêter les bases d'un avant-projet d'assainissement rationnel;

Après avoir pris connaissance du projet d'assainissement dressé en 1897 par M. *Résal*, alors Directeur du Service municipal de Lyon, et avoir recueilli tous renseignements utiles auprès de M. *Auric*, directeur actuel de ce service, qui avait pris soin de les réunir dans une brochure fort intéressante;

Après avoir également examiné les projets d'assainissement dressés récemment par divers ingénieurs sanitaires, et notamment ceux exhibés à l'Exposition d'hygiène urbaine;

Considérant qu'il importe, au point de vue hygiénique, de supprimer toute stagnation et toute fermentation des eaux vannes et usées dans les maisons et de les évacuer, au plus vite, en dehors de l'agglomération; qu'en conséquence les fosses fixes existant à Lyon et dans les localités suburbaines

devraient disparaître, et que d'ailleurs les sommes que la population paie annuellement pour la vidange de ces fosses sont élevées et pourront être remplacées avantageusement par des taxes municipales permettant de gager par un emprunt la dépense à faire pour l'établissement d'un système d'assainissement ;

Considérant que le transport par l'eau des matières de vidange (water-carriage), autrement dit le système du « tout à l'égout », est le plus économique et le plus convenable pour l'évacuation de ces matières, et que la ville de Lyon possède un service d'eau très abondant, capable d'assurer, avec l'aide de chasses, une bonne évacuation;

Considérant qu'il existe déjà un réseau de 187 kilomètres d'égouts, mais que ces canaux ne sont pas en état de recevoir les vidanges, tandis qu'il suffira d'un aménagement relativement facile pour les mettre à même d'évacuer les eaux pluviales, les eaux industrielles et les eaux de trop-plein du lac du parc de la Tête-d'Or, et qu'ainsi il paraît indiqué de recevoir les eaux vannes et les eaux ménagères dans un réseau *séparé*, à construire entièrement à neuf;

Considérant que, si les eaux pluviales peuvent se déverser sans inconvénient dans le Rhône et la Saône dans la traversée de la ville (c'est même une nécessité lors des grandes averses), il n'en est pas de même des eaux vannes et ménagères, et qu'il y aura lieu, tout d'abord, de les conduire en dehors et à l'aval de l'agglomération ;

Considérant qu'il serait véritablement trop onéreux de traiter ces eaux comme le proposait M. *Résal*, par l'épuration agricole, en les relevant par deux usines de relai, dont la seconde ne refoulerait pas à moins de 45 mètres de hauteur ;

Considérant que le Rhône, surtout après son confluent avec la Saône, a, à toute époque de l'année, un débit et une vitesse considérables, même en basses eaux, — que le fleuve possède, bien certainement, un pouvoir épurateur très grand et très rapide, — qu'aucune ville n'y prend à peu de distance son eau de boisson, — et qu'ainsi, on peut admettre le déversement des eaux vannes et ménagères dans le Rhône à l'aval de la ville;

1° En temps de hautes eaux, c'est-à-dire à un niveau supé-

rieur à $1^m,50$ au-dessus de l'étiage, en l'effectuant directement;

2° En autre temps, en ne l'effectuant qu'après une clarification et une épuration que les procédés biologiques permettent aujourd'hui de faire relativement à bon marché;

Estiment que pour la ville de Lyon et les localités suburbaines (notamment Villeurbanne et la Mulatière) conjointement, il y a un intérêt hygiénique et même économique de premier ordre à poursuivre, au plus tôt, l'étude définitive et l'exécution d'un projet rationnel d'assainissement qui aurait pour base le programme ci-après :

a) Les égouts actuels seront remaniés et régularisés, conformément aux prévisions du projet *Résal*, de manière à constituer un réseau affecté à l'écoulement des eaux pluviales, des eaux industrielles (quelques-unes après épuration dans l'intérieur des usines) et du trop-plein du lac de la Tête-d'Or; ce réseau, dit pluvial, se déversera directement dans le Rhône et la Saône;

b) Il sera établi, complètement à neuf, un réseau spécial, généralement en tuyaux, pour l'évacuation des eaux vannes et ménagères; ce réseau séparé, dit réseau-vanne, fonctionnera, autant que possible, par la gravité seule, avec l'aide de nombreux réservoirs de chasses à établir à l'origine des canalisations : il pourrait peut-être aussi recevoir utilement les eaux pluviales de certains immeubles ainsi que le produit des petites pluies, dans certaines zones.

Le débit de ce réseau qui sera sensiblement constant pourra être évalué, au moins provisoirement à 100 000 mètres cubes par jour;

c) Le réseau-vanne aura trois collecteurs principaux, l'un pour la rive droite de la Saône et La Mulatière, l'autre pour la région entre Rhône et Saône, le troisième pour la rive gauche du Rhône et Villeurbanne. Ce dernier sera conduit directement jusque dans la plaine des Brotteaux-Rouges (sans dépasser Saint-Fons) à l'usine de traitement, et là, son apport serait relevé mécaniquement pour être amené au-dessus des plus hautes eaux du fleuve.

Le collecteur de rive droite de la Saône serait conduit, par une galerie à établir sous la rivière un peu en amont du pont

de la Mulatière, jusqu'à réunion avec le collecteur d'entre Rhône et Saône; là, des pompes prendraient le produit des deux collecteurs pour le refouler de l'autre côté du Rhône à un niveau supérieur aux plus hautes crues dans l'usine de traitement. Comme la traversée sous le Rhône serait très difficile et que, d'autre part, la ville projette un pont au lieu dit « Les Rivières », dans le prolongement du chemin vicinal n° 48 des cures du Rhône, il y aurait, semble-t-il, avantage à profiter de ce pont futur pour y faire passer les conduites du refoulement en question; quant à la force motrice actionnant les pompes de ce refoulement, elle pourrait provenir de la même usine qu'aux Brotteaux-Rouges ou inversement;

d) Amené ainsi dans la plaine des Brotteaux-Rouges, au-dessus du niveau des plus hautes eaux du Rhône, tout le sewage séparatif serait déversé directement et sans traitement dans le fleuve, lorsque celui-ci serait à plus de $1^{m},50$ au-dessus de l'étiage, étant entendu que le débouché se ferait par un émissaire conduit en lit mineur et, autant que possible, en plein courant. En autres temps, le sewage serait traité d'abord par des bassins de clarification, et à leur suite par une installation d'épuration biologique partielle, capable de l'amener à un état de pureté suffisante pour enlever au déversement en Rhône, même en basses eaux, toute espèce d'inconvénient.

Il reste entendu, d'ailleurs, si des agriculteurs le demandaient, qu'une certaine partie du sewage pourrait être concédée pour l'épandage; les demandeurs, en ce cas, devraient le prendre à son arrivée, après relèvement, à l'usine de traitement, sans frais pour la ville.

*
* *

IV. — **Ville de Lille** (Projet d'épuration des eaux résiduaires du quartier de l'Abattoir, dressé par M. *A. Degoix*). — Avant d'aborder l'étude d'un projet définitif et complet d'assainissement, la ville de Lille a décidé, en 1907, d'installer dans celui de ses quartiers qui contribue le plus à polluer la rivière la Deûle, un réseau d'égouts séparatif et de réaliser l'épuration des eaux résiduaires ainsi collectées, parmi lesquelles se trouveront tous les liquides issus des abattoirs.

La *fig.* 41 indique le plan général du quartier qu'il s'agit d'assainir, avec la disposition des conduites, celle des réser-

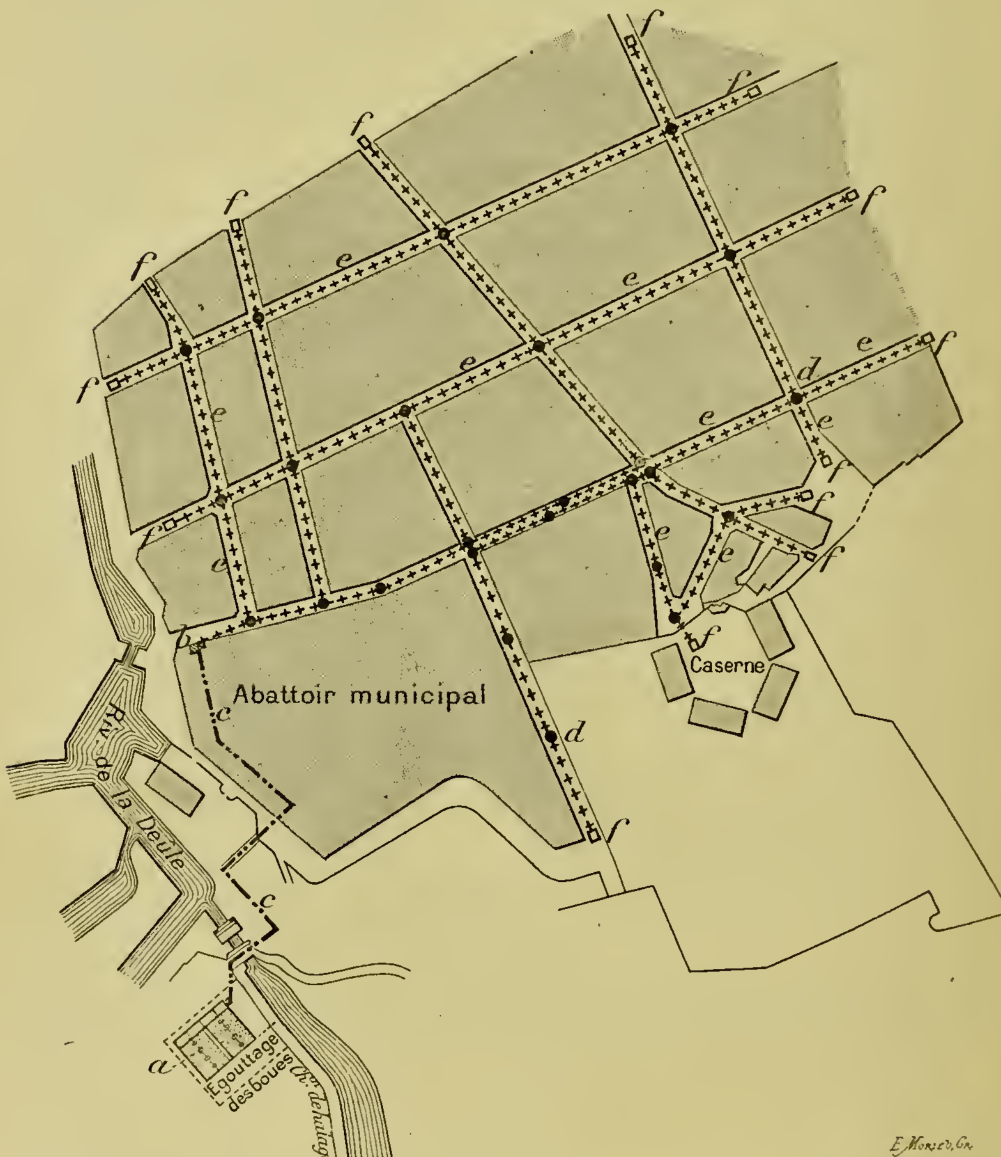


Fig. 41. — Ville de Lille. Épuration biologique des eaux résiduaires du quartier Saint-André et de l'abattoir municipal. Canalisations du système séparatif. (Projet en exécution).

a Épuration biologique.
b Salle de machines et éjecteurs.
·—· *cc* Conduites de refoulement.
● *dd* Regards de visite.
+++ *ee* Conduite d'amenée des eaux résiduaires.
□ *ff* Réservoirs de chasse.

voirs de chasse du poste d'éjecteurs et l'emplacement de la station épuratrice.

L'amenée des eaux jusqu'à celle-ci par gravitation étant

impossible, on a dû prévoir leur refoulement par l'air comprimé au moyen des éjecteurs *Shone* que nous avons décrits dans notre volume II. Ces appareils, quoique d'un rendement inférieur à celui des pompes centrifuges mues par l'électricité,

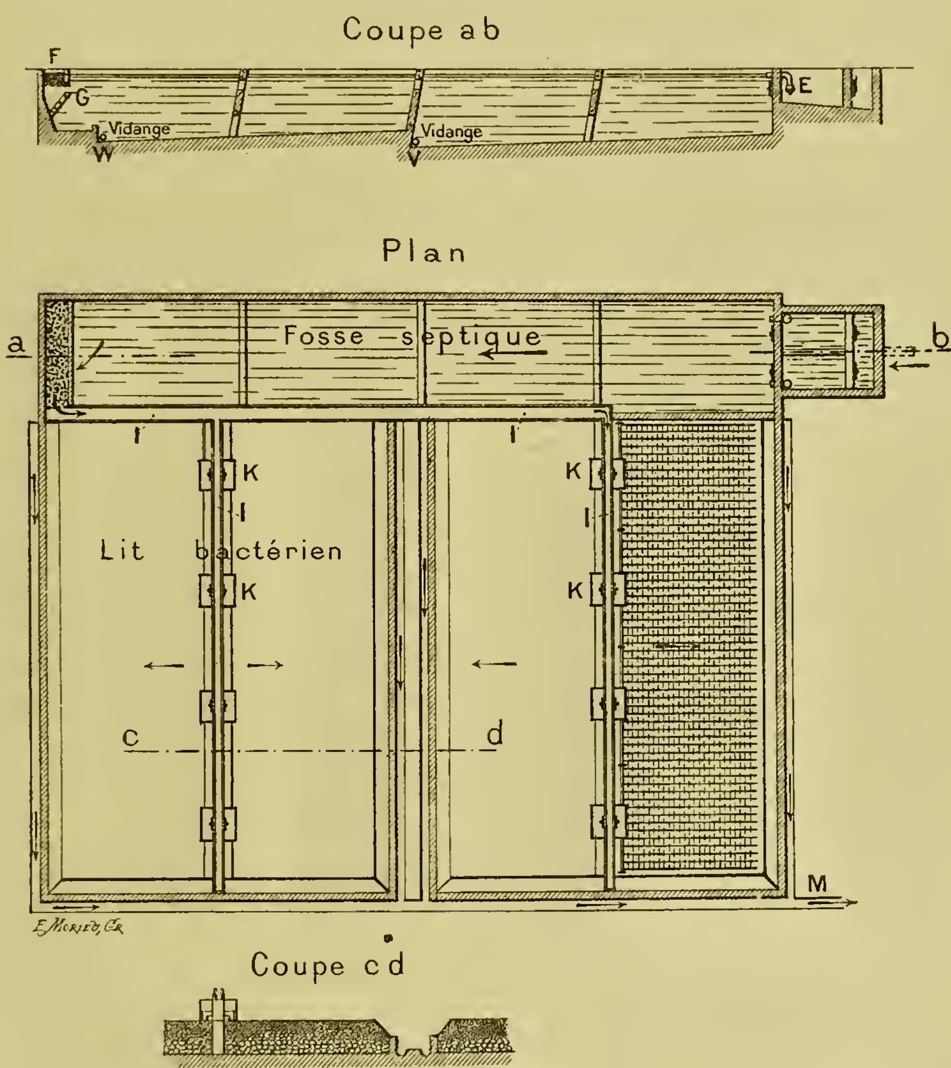


Fig. 42. — Station d'épuration biologique des eaux résiduaires du quartier de l'Abattoir, à Lille.

présentent le très grand avantage d'être d'une robustesse extrême et de n'exiger que des frais d'entretien insignifiants. Leur usure est à peu près nulle tandis que celle des pompes est très rapide.

L'épuration sera réalisée par le système biologique (voir *fig.* 42).

Les eaux arrivant en B dans deux fosses à sable permettant le nettoyage alternatif de l'une et de l'autre, pénétreront dans une fosse septique dont la coupe est représentée suivant AB. La capacité de cette fosse est de 1200 mètres cubes, ce qui représente la quantité maximum d'eau qu'elle pourra recevoir en 24 heures. Elle est divisée par trois cloisons incomplètes perforées et légèrement inclinées dans le sens du courant, de manière à accumuler les boues les plus lourdes en deux points V et W d'où elles pourront être évacuées à l'extérieur par simple pression du liquide sous-jacent.

Par E les eaux pénètrent dans la fosse septique; elles ressortent par G entre deux chicanes, l'une verticale émergeante retenant les corps flottants, l'autre oblique arrêtant les bulles de gaz et les dépôts du fond. Elles passent de bas en haut à travers le filtre à scories F et se rendent par le canal III aux réservoirs de chasse KK lesquels, munis de siphons automatiques type Doulton, déverseront par intermittences toutes les 15 minutes environ 1 mètre cube d'eau sur la section du lit bactérien percolateur que chacun d'eux doit desservir.

La répartition à la surface du lit s'effectuera par un réseau de tubes parallèles en fer, perforés en quinconces, tous les 20 centimètres, à angle de 45° sur la verticale, de manière à projeter l'eau en jets minces sous une pression variant de 0^{m},50 au début de la chasse à 0^{m},20 à la fin de celle-ci.

Le lit est construit, partie entre murs bas, perforés à la base et traversés par les drains d'évacuation, partie en talus (coupe CD), sur 1^{m},75 de hauteur.

La sortie de l'eau épurée et son écoulement à la Deûle s'effectueront par le canal M.

Cette installation sera mise en marche au cours de l'été 1908.

CHAPITRE XXV

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE DES EAUX D'ÉGOUT EN ALLEMAGNE

I. — Institut royal prussien d'essais et d'examen pour l'approvisionnement en eau potable et pour l'épuration des eaux résiduaires. (*Königliche Versuchs und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung*; Kochstrasse, 73, Berlin W.). — Son organisation et son fonctionnement.

Historique. — Le meilleur moyen de favoriser le large développement des agglomérations urbaines et d'y combattre les épidémies, consiste à leur assurer un bon approvisionnement en eau potable, et une bonne évacuation et épuration de leurs eaux résiduaires. L'importance de cette question est universellement reconnue; aussi, dès le 24 mars 1900, les grandes villes et les Sociétés industrielles de la Prusse déposaient-elles au Ministère une pétition réclamant l'organisation d'un Institut Central chargé spécialement de l'étude de ces questions. Cette pétition signalait en même temps les dommages causés aux communes et aux industries par certaines mesures impropres qui avaient été prises soit au sujet de l'approvisionnement en eau potable, soit au sujet de l'épuration des eaux résiduaires. Avec juste raison, la pétition rattachait ces fautes à l'absence d'un établissement spécial, dans lequel devaient se trouver réunis tous les documents sur ces questions, et où les autorités et les particuliers auraient pu s'entourer de tous les renseignements et faire effectuer tous les essais utiles.

Des commissions, composées de représentants de divers ministères, avaient bien déjà commencé l'étude des meilleures

méthodes d'épuration des eaux ; mais, devant l'importance croissante de ces questions d'hygiène, ce rouage était devenu manifestement insuffisant, et la création d'un établissement central, consacré exclusivement à ces études, pouvait seule assurer les besoins des villes et des industries dans ce domaine, en centralisant toutes les études et en donnant tous les renseignements utiles.

Sur le rapport de M. le professeur *Schmidtmann*, l'État Prussien votait en 1901 les fonds nécessaires à l'organisation de cet Institut dont le fonctionnement a commencé en avril 1901. L'installation en a été faite dans un grand appartement situé à Berlin, 75, Kochstrasse, et laissé libre par la Société allemande d'agriculture. Les dépenses nécessaires à l'aménagement des bureaux et laboratoires se sont élevés à 16.000 marks seulement, car le laboratoire de chimie de la Société d'Agriculture était encore tout outillé. Le personnel comprenait alors un directeur, quatre chimistes et deux botanistes, et la somme totale mise à la disposition du nouvel établissement par l'État a été de 50.000 marks. Nous verrons plus loin que ce personnel et ces subventions sont aujourd'hui considérablement augmentés.

L'Institut est encore actuellement dans le même local ; mais son installation ne répondant plus aujourd'hui à ses besoins grandissants, il sera très prochainement transféré dans une construction spéciale mieux appropriée à son activité scientifique.

But de l'établissement. — Le but de l'établissement est le suivant :

1° Il doit étudier les questions qui se rattachent à l'approvisionnement en eau et à l'épuration des eaux résiduaires, principalement au point de vue de l'hygiène des agglomérations urbaines.

2° Il doit faire les essais qui se rapportent à ces études, dans l'intérêt général.

3° Il doit exécuter, dans son domaine scientifique, les recherches qui lui sont demandées par les différents ministères, et aussi, contre rémunération, celles qui lui sont demandées par les autorités et par les particuliers.

4° Il doit donner des renseignements et des avis dans l'intérêt public.

En particulier, sous le rapport de l'approvisionnement en eau potable, ses principales attributions sont les suivantes :

Études expérimentales, scientifiques et techniques, des nouvelles méthodes d'approvisionnement et de purification des eaux potables; étude des procédés d'analyse et de contrôle.

Renseignements et conseils, au point de vue sanitaire, sur la demande des autorités ou des particuliers, sur les dispositifs d'approvisionnement en eau entrepris ou projetés.

Examen scientifique et technique de l'exploitation des services d'eaux.

Analyse des échantillons d'eaux.

Sous le rapport de l'épuration des eaux résiduaires, ses attributions principales sont les suivantes :

Examen méthodique, au point de vue sanitaire et technique, des méthodes d'épuration d'eaux résiduaires ; étude de leur efficacité et de leur mode d'utilisation; recherche de perfectionnements et de procédés nouveaux.

Établissement de plans d'études pour des recherches sur l'épuration d'eaux résiduaires de nature particulière et exécution de ces recherches.

Conseils sanitaires et techniques aux villes, communes et industries, pour les dispositifs d'épuration d eaux résiduaires.

Analyses d'eaux d'égout, de boues, de dépôts, de terres, etc.

Détermination systématique de l'action des eaux de diverses natures sur les rivières au point de vue chimique et biologique (flore, faune, pisciculture); détermination des moyens de maintenir la propreté des cours d'eau.

Recherches sur l'action des eaux résiduaires sur le sol, sur l'utilisation des substances fertilisantes qu'elles contiennent, sur le degré de pureté que doivent présenter les eaux épurées.

L'Institut doit enfin se tenir au courant de toute la littérature allemande et étrangère sur ces questions, et signaler au Ministre compétent les points particulièrement intéressants.

Direction et personnel. — L'Institut relève du *Ministre de l'Instruction publique*. Tous les trimestres, une commission se

réunit pour examiner la marche de l'établissement et faire un rapport sur ses travaux. Cette Commission est formée de représentants de tous les ministères intéressés, c'est-à-dire du ministère de l'Instruction publique, du ministère de l'Intérieur, du ministère de l'Agriculture, des domaines et des forêts, du ministère du Commerce et de l'Industrie, du ministère des Travaux publics et du ministère des Finances.

Le directeur actuel est M. le professeur *Schmidtmann*, qui a la surveillance de tout le fonctionnement de l'établissement, et qui est, de droit, président de la Commission signalée ci-dessus.

L'Institut a, en outre, comme directeur technique, M. le professeur Dr *Günther*, qui est chargé plus spécialement de la direction intérieure.

Le personnel scientifique comprend actuellement les deux directeurs, 13 membres, 2 membres adjoints et 10 assistants, soit au total 27 personnes. Toutes les branches de la science qui sont nécessaires pour l'étude des eaux s'y trouvent représentées ; plusieurs médecins s'occupent des rapports de la médecine et de l'hygiène avec la question des eaux potables et des eaux résiduaires ; des bactériologistes et des chimistes sont chargés des analyses et des recherches sur les procédés d'épuration des eaux ; des botanistes étudient les eaux au point de vue de leur flore et recherchent les rapports qui existent entre cette flore, la composition chimique des eaux et leur degré de contamination ; des zoologistes s'occupent des relations entre la composition des eaux et la faune, notamment au point de vue de la pisciculture ; des ingénieurs enfin sont chargés d'examiner les plans qui sont transmis, d'en dresser parfois et de donner leur concours à l'organisation technique des essais nécessaires.

L'Institut est ainsi divisé en quatre sections principales :

1° La section chimique, qui s'occupe de toutes les analyses et recherches d'ordre chimique. Son directeur est M. le professeur *Thumm*.

2° La section bactériologique qui a dans ses attributions toutes les analyses et recherches bactériologiques, et dont le directeur est M. le professeur *Wolpert*.

3° La section botanique, qui s'occupe de la flore des eaux,

de l'étude des protozoaires, des cultures dans l'utilisation agricole des eaux résiduaires, etc.; son directeur est M. le professeur *Kolkwitz*.

4° La section technique, composée de trois ingénieurs, qui a dans ses attributions tout ce qui se rattache aux plans, travaux, dessins et appareils.

Analyses. — Recherches. — Les principales analyses effectuées par l'Institut sont des analyses chimiques et bactériologiques d'eaux potables et d'eaux résiduaires; on fait, en outre, un assez grand nombre d'examens de projets d'approvisionnement en eau potable. Les analyses sont effectuées d'après un tarif assez élevé. Pour les avis et consultations, ils sont comptés d'après le temps et le travail qui y sont consacrés, à raison de 30 marks par jour de travail exigé. Quand des voyages sont nécessaires, ils donnent lieu à une indemnité journalière de 20 marks, non compris les vacations et frais de voyage qui sont déterminés par la loi. Les analyses nécessitées par une consultation sont comptées au tarif ordinaire.

Le nombre de demandes soumises à l'Institut a été ainsi, en 1901, de 121, en 1904, de 362 et en 1905, de 367. Sur ce dernier chiffre, 165 provenaient des autorités d'État, 113 des autorités communales, 77 des particuliers et 12 du ministère de l'Instruction publique. Les échantillons reçus ont atteint les chiffres suivants :

En 1901	910	En 1904	1546
— 1902	1124	— 1905	1482
— 1903	1297	— 1906	1882

L'Institut a réalisé ainsi, en 1905, une somme de 56.748 marks 52. En outre, des voyages de consultations ont été effectués dans près de 100 villes d'Allemagne en 1905.

Le service des analyses d'eaux est un des plus importants et des plus actifs de l'établissement. Un questionnaire spécial a été préparé pour l'examen des projets d'alimentation en eau. Ce questionnaire, qui doit être rempli par le Maire de la commune et par l'auteur du projet, comprend tous les renseignements utiles à connaître sur l'alimentation actuelle en eau,

la présence ou l'absence de maladies contagieuses, l'emplacement, les besoins, etc. Il permet à l'Institut de se rendre compte exactement de la valeur des dispositions prises et de donner un avis motivé. Un autre questionnaire se rapporte aux renseignements nécessaires pour l'examen des eaux potables. Enfin une notice donne les instructions à suivre pour les prises d'échantillons.

L'Institut se trouve ainsi parfaitement documenté pour chaque cas spécial qui lui est soumis.

L'organisation administrative du service n'est pas moins remarquable. L'Institut possède la carte complète, au 1/500.000^e, de toute la Prusse, sous forme de feuilles dont les dimensions correspondent à peu près à celles des quarts de feuilles de notre carte d'État-major. Chaque ville qui envoie un échantillon est soulignée aussitôt sur la carte, à l'encre rouge, si elle ne l'est déjà. Quand une analyse arrive à l'établissement, on examine d'abord la carte de la région, et on sait ainsi immédiatement s'il a été déjà fait des analyses d'eaux de cette ville, ou des villes voisines, et la position réciproque de ces villes les unes par rapport aux autres. L'analyse effectuée est transcrite sur une fiche qui porte tous les renseignements nécessaires sur l'endroit, la nature de la source, etc., et reproduit les chiffres de l'analyse. Toutes ces fiches sont classées par ordre alphabétique, et on peut ainsi retrouver très rapidement toutes les analyses d'eaux antérieures qui intéressent une ville déterminée ou un périmètre donné. La comparaison de ces analyses entre elles, qui peut s'effectuer à toute époque, et l'examen des cartes permettent de constater avec précision un grand nombre de faits qui passent le plus souvent inaperçus, tels que l'étendue de certaines contaminations, leur origine probable, leur nature accidentelle ou permanente, etc. Bien que cette organisation n'existe que depuis quatre ans, elle possède déjà une collection précieuse de fiches, et les services qu'elle est susceptible de rendre deviendront évidemment d'autant plus grands que sa documentation sur les eaux en Allemagne sera plus complète.

Il est à signaler que les chemins de fer de l'État prussien envoient à l'Institut, plusieurs fois par an, un grand nombre de demandes d'analyses, soit pour les eaux potables dans les

gares, soit pour les eaux d'alimentation des locomotives. L'organisation signalée ci-dessus existe spécialement pour les chemins de fer, dont les fiches, de couleur différente, sont également conservées et classées par le service des eaux de l'Institut.

Les laboratoires sont parfaitement outillés, mais de dimensions trop restreintes. Cet inconvénient disparaîtra d'ailleurs quand l'établissement sera transféré dans les nouveaux bâtiments en construction.

Le service bibliographique mérite une mention spéciale. La bibliothèque possède la majeure partie des livres et journaux allemands et étrangers qui se rapportent aux questions des eaux. Chaque livre ou article qui paraît est noté sur des fiches spéciales, portant l'indication du nom de l'auteur, de la nature du travail et du numéro du journal qui le renferme. Ces fiches sont classées en quatre catégories : noms d'auteurs, noms de fleuves, noms de villes et matières. Chaque article est classé, suivant sa nature, dans une ou plusieurs de ces catégories. Par exemple, les articles signés qui se rapportent à une ville déterminée donnent naissance à deux fiches : une relative au nom d'auteur, l'autre relative à la ville. Toutes ces fiches sont classées par ordre alphabétique dans chaque catégorie.

Le travail bibliographique devient ainsi extrêmement facile. Demande-t-on des renseignements sur l'Elbe, par exemple : les fiches classées dans la catégorie : Fleuves, sous la rubrique : Elbe, signalent immédiatement tout ce qui a été publié sur ce cours d'eau. Il en est de même pour l'assainissement ou l'alimentation en eau d'une ville quelconque. En outre, la classification « matières » permet de retrouver du premier coup toute la bibliographie relative à une question donnée, par exemple l'emploi de l'ozone pour la stérilisation des eaux potables. Enfin la classification par noms d'auteurs permet de retrouver sans difficulté tous les articles dont on ne connaît que l'auteur.

Indépendamment de cette organisation bibliographique, le secrétariat de l'Institut effectue un travail et une classification semblables, en quatre catégories, de toutes les recherches qui sont faites à l'établissement sur les diverses villes et fleuves d'Allemagne et sur les diverses matières. L'Institut

possède ainsi une organisation bibliographique absolument remarquable par son étendue et par la rapidité avec laquelle elle peut fournir les renseignements les plus complets sur toutes les questions qui se rattachent aux eaux potables, industrielles, naturelles ou résiduaires.

Les principales recherches effectuées par l'établissement depuis cinq ans ont été les suivantes : étude de l'épuration des eaux résiduaires par voie chimique et biologique, examen des diverses méthodes; étude des procédés d'analyse, de la flore et de la faune des eaux et de leurs modifications suivant la nature et la contamination des rivières; recherche des meilleures méthodes bactériologiques qui permettent de juger de la valeur d'une eau, etc....

En dehors de ces recherches, l'Institut a eu à donner très fréquemment son avis sur des installations d'alimentation en eau ou d'épuration d'eaux résiduaires.

L'Institut possède, en outre, à *Charlottenburg*, près *Berlin*, une station expérimentale où l'on peut se livrer à des études pratiques sur l'épuration des eaux résiduaires. C'est ainsi que l'installation biologique faite pour l'épuration des eaux de la ville de Wilmersdorf, près Berlin (200 000 hab.), a été précédée d'essais pratiques effectués à la station pour déterminer les meilleures conditions de travail. On y procède, en outre, à toutes les expériences relatives à l'influence de la grosseur des matériaux, à l'étude et à la comparaison des diverses méthodes d'épuration, etc....

Publications. Cours. — Les résultats fournis par toutes ces recherches sont réunis dans une publication[1] paraissant sous forme de fascicules à intervalles réguliers.

En dehors de ses attributions déjà signalées, l'Institut donne également chaque année plusieurs séries de cours, d'une durée de 10 jours en moyenne, destinés aux fonctionnaires des services municipaux, des services médicaux et aux inspecteurs des industries. Ces cours ont pour but de leur faire connaître les questions d'hygiène qui rentrent dans leurs attributions, de leur exposer chaque année les progrès réa-

[1] *Mittheilungen aus der königlichen Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung* — August Hirschwald, Unter den Linden, 68, Berlin.

lisés dans ces domaines, afin qu'ils possèdent toute la compétence voulue dans l'exercice de leurs fonctions. Ces cours, professés par le personnel de l'Institut, comprennent principalement : les rapports de l'alimentation en eau potable avec la santé publique, de la géologie avec les couches aquifères; l'épuration des eaux résiduaires des villes et des industries; l'utilisation des résidus tels que boues, gadoues, ordures ménagères; les méthodes d'analyse et de contrôle des eaux; l'épuration des eaux potables; la construction des canalisations; la législation sanitaire, etc.... Des excursions sont, en outre, organisées dans les installations d'épuration d'eaux, dans les stations de pompes, les champs d'épandage, etc..., qui se trouvent au voisinage de Berlin. Cette innovation très heureuse assure la compétence des fonctionnaires en leur permettant de s'instruire et de se tenir au courant de tous les progrès réalisés dans les questions qui les intéressent.

Ressources de l'Établissement. — L'Institut possède des ressources assez considérables qui proviennent en partie du Ministère de l'Instruction publique, en partie des analyses et études faites par l'Établissement. L'État assure à l'Institut une somme annuelle de 130 000 marks; mais comme les analyses et études rapportent en moyenne 70 000 marks par an, la contribution réelle du Ministère se réduit à 60 000 marks, soit 75 000 francs par an.

Mais ces 130 000 marks ne constituent pas les seules ressources de l'Institut. Il reçoit, en outre, une subvention très importante des villes, communes, industries et particuliers, par la voie de la « Société pour l'approvisionnement en eau et pour l'épuration des eaux résiduaires ». Cette Société, créée depuis quelques années, comprend 55 grandes villes de Prusse et 11 sociétés industrielles importantes, notamment celles des fabricants de sucre, des ingénieurs allemands, des fabricants de papier, de cellulose, etc.... Elle a pour but d'apporter son appui à l'étude de toutes les questions relatives à l'approvisionnement en eau et à l'épuration des eaux résiduaires. Un accord a été conclu entre l'Institut et cette Société pour unir leurs efforts vers le but commun. La Société soumet à l'Institut les propositions qui lui paraissent

intéressantes à étudier au point de vue des villes et des industries; le plan de travail est discuté et élaboré entre l'Institut, le président de la Société et, au besoin, d'autres personnes dont les connaissances spéciales peuvent être utiles. Les études sont exécutées, soit dans les installations qui appartiennent aux villes ou aux industries qui font partie de la Société, installations qui doivent, dans ce cas, être mises à la disposition de l'Institut, soit dans des installations faites avec les ressources de la Société. Celle-ci doit prêter son concours à l'Institut pour l'étude de toutes les questions du domaine de l'approvisionnement en eau ou de l'épuration des eaux résiduaires, et particulièrement mettre à sa disposition des praticiens expérimentés qui viennent apporter leur appui pour la réalisation pratique des études. C'est là un avantage très considérable pour l'établissement, qui trouve ainsi, dans toute la Prusse, pour les questions qui lui sont soumises, le concours des praticiens et des hommes compétents de chaque localité, et cette collaboration facilite beaucoup la solution des problèmes envisagés. L'Institut reçoit, en outre, dans la limite des places disponibles, les médecins, chimistes et ingénieurs envoyés par les communes et les industriels qui font partie de la Société, pour les mettre au courant des méthodes de contrôle et d'analyse des eaux. Enfin, les membres de la Société ont droit à un rabais de 25 pour 100 sur le tarif des analyses pour les recherches qu'ils font effectuer à l'Institut.

Telles sont les bases générales de l'accord entre l'Institut et la Société pour l'approvisionnement des villes en eau et pour l'épuration des eaux résiduaires. Celle-ci verse dans ce but, à titre de subvention, une somme annuelle de 50 000 marks à l'Établissement. Cette collaboration produit les plus heureux résultats. D'abord, elle donne à l'Institut un supplément de ressources très important; ensuite elle lui permet de diriger ses études dans un sens réellement pratique, en enseignant les questions qui intéressent particulièrement les villes et les industries prussiennes. Les renseignements s'obtiennent, en outre, très aisément; le concours pratique des services municipaux, des industriels est acquis, et ces circonstances facilitent beaucoup les recherches et permettent de déterminer avec précision les données de chaque problème.

On voit, par ce qui précède, que les ressources totales annuelles de l'Institut se montent environ à 180 000 marks, soit 225 000 francs. Le développement prodigieux de cette institution, qui n'a que cinq années d'existence, montre à quelles nécessités répondait sa création. La Prusse possède aujourd'hui un établissement merveilleusement outillé pour l'étude de toutes les questions hydrologiques, et capable d'aider et de guider les villes et les industries dans les problèmes si importants, si fréquents et si difficiles, qui se présentent sans cesse au point de vue des eaux. L'efficacité de ce rouage est encore accrue par la collaboration parfaite qui existe entre ses services d'une part, et les services municipaux et les industries d'autre part. Ce dernier fait mérite d'être particulièrement signalé : loin d'accueillir avec hostilité ou indifférence la création de cet Institut et l'aide officielle qu'il leur apporte, les villes et les industries se sont préoccupées aussitôt de lui ouvrir largement leurs portes, d'entrer en rapports avec lui, de le subventionner et de joindre leurs efforts aux siens pour l'étude de toutes ces questions d'intérêt public. Il serait bon, en France, que nous méditions cet exemple si rare d'union et de collaboration intime des divers services administratifs et privés, en vue de la solution des problèmes d'hygiène générale si importants pour la santé publique.

II. — Station expérimentale de Hambourg.

La station expérimentale de *Hambourg* a été construite en 1895. Elle a coûté 50 000 marks et dispose d'une subvention annuelle de 10 200 marks.

Son installation a été faite de manière à pouvoir y étudier et y comparer les diverses méthodes d'épuration des eaux et de désinfection. Les eaux arrivent d'abord dans un réservoir, d'où un dispositif permet de les faire passer dans les appareils de la station ou de les évacuer au contraire au dehors si l'on veut suspendre l'alimentation. Les eaux passent alors dans une fosse à sable de $5^m,70 \times 2$ mètres, portant en son milieu une grille dont les barreaux sont à 1 centimètre d'écartement.

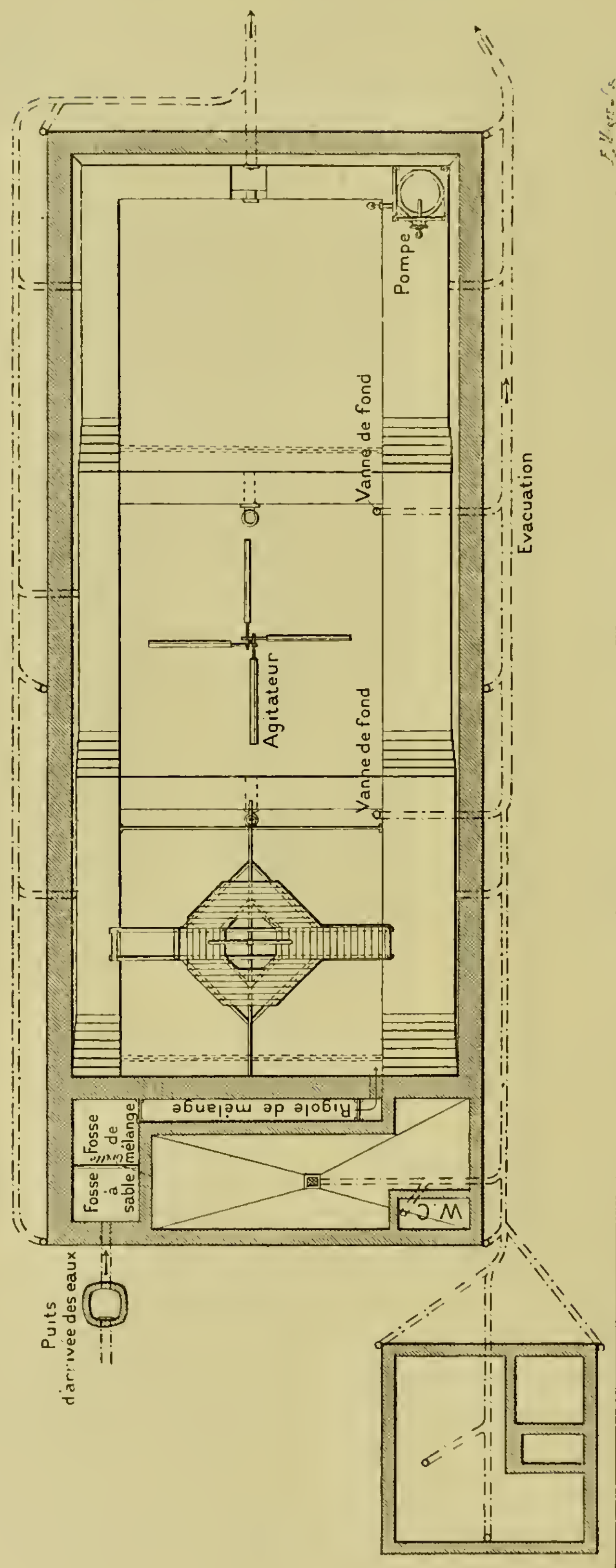


Fig. 65. — Station expérimentale de Hambourg. (Plan.)

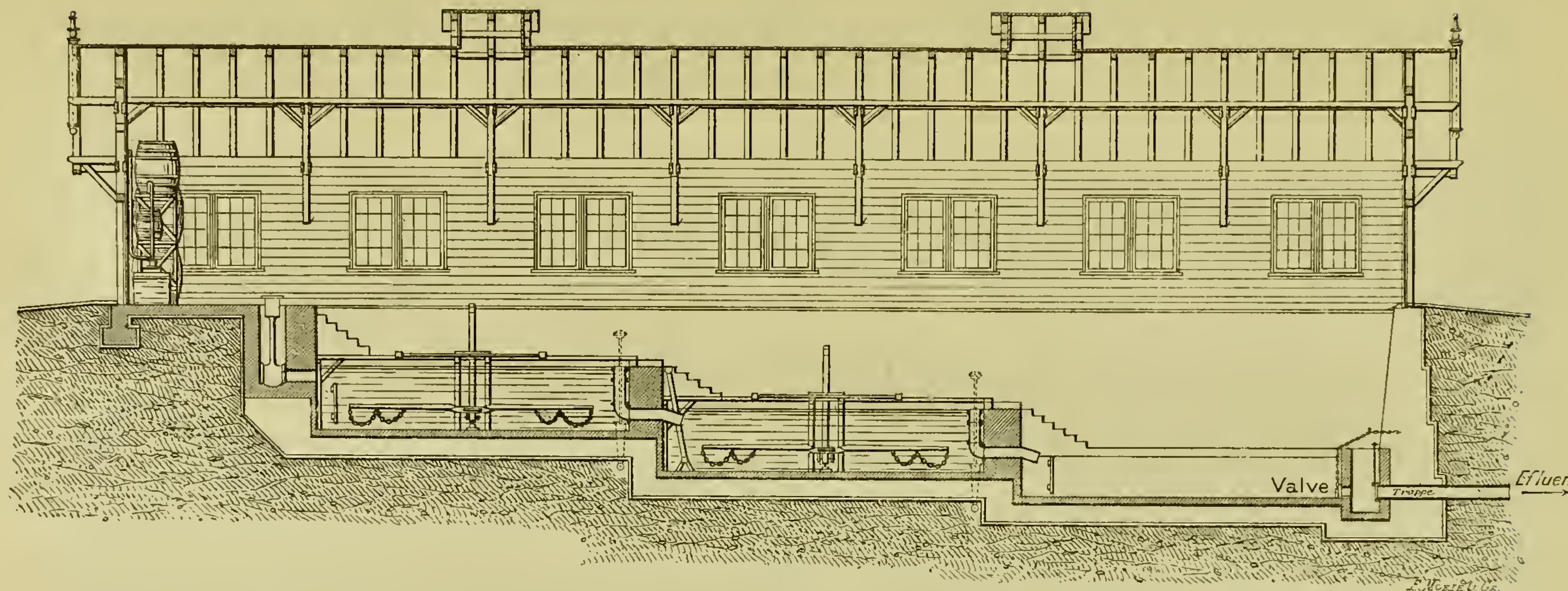


Fig. 41. — Station expérimentale de Hambourg. (Coupe longitudinale.)

De cette fosse, les eaux se rendent dans un canal de 60 centimètres de largeur, dans lequel on peut éventuellement faire une addition de produits chimiques. Ce canal porte une vanne d'évacuation vers la canalisation de sortie, de sorte qu'on peut ne faire passer dans les appareils d'évacuation que la quantité d'eau voulue. A la suite de ce canal viennent trois bassins de clarification de 64 mètres carrés de surface et de $1^{m},50$ de profondeur, disposés en cascade, pour permettre d'évacuer par un tuyau et sans pompe le contenu d'un bassin dans le bassin immédiatement inférieur. Les bassins sont munis d'agitateurs qu'on peut placer ou enlever suivant les besoins. Chaque bassin porte en outre une vanne de fond qui permet d'évacuer le liquide dans la canalisation de sortie. La station comprend enfin un laboratoire de chimie.

Les figures 43 et 44 représentent une coupe longitudinale et un plan de cette installation.

Dunbar et ses élèves ont effectué dans cette station expérimentale d'importantes études sur la désinfection des eaux d'égout et sur les procédés de clarification chimiques et mécaniques. Depuis 1897, les études ont surtout porté sur les procédés biologiques, et les résultats de ces travaux ont été en grande partie signalés dans le présent volume et dans nos volumes antérieurs. Dans les recherches sur les procédés biologiques, le premier bassin sert pour la mesure des eaux, ce qui permet en outre, grâce à la présence de l'agitateur, un échantillonnage rigoureux. Le deuxième bassin sert de lit bactérien, et le troisième de filtre à sable.

III. — Station d'épuration des eaux de Wilmersdorf.

Cette station a été construite à *Stahnsdorf*, près *Berlin*, pour l'épuration des eaux des faubourgs de *Wilmersdorf*, de *Schmargendorf*, de *Zehlendorf* et de *Teltow* (*fig.* 45). Les eaux sont d'abord amenées à une station de pompes d'où on les envoie aux lits épurateurs. La canalisation d'égouts est construite, pour les trois quarts, d'après le système séparatif, et pour un quart d'après le système unitaire. Les eaux, en arrivant à la station de pompes, passent d'abord dans une fosse à sable et

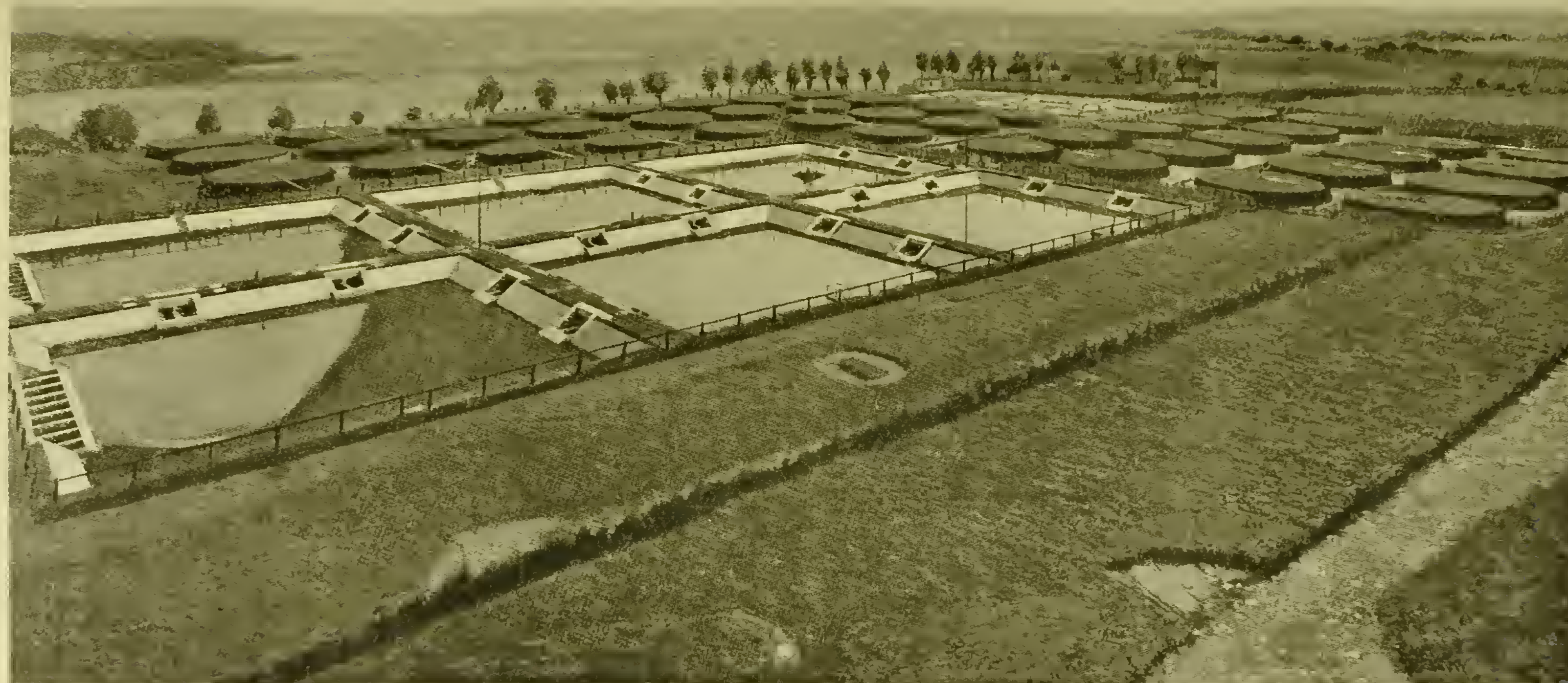


Fig. 15. — Vue générale de la station d'épuration biologique de *Wilmersdorf*, près *Berlin*.
(Fosses septiques et lits bactériens percolateurs à *Sprinklers*.)

sont débarrassées par une grille des corps étrangers volumineux. Les matières déposées dans la fosse sont enlevées par une drague électrique, déversées dans des wagonnets et de là dans des wagons d'une contenance de 2 mètres cubes. L'enlèvement de ces boues occasionne une dépense en électricité de 0 mk 10 par mètre cube de boue enlevée.

La station de pompes comprend quatre machines dont chacune peut aspirer à chaque tour 200 litres d'eau, pour les refouler à une hauteur maximum de 67^m,4. Le nombre de tours à la minute est au minimum de 50 et au maximum de 90. Ces pompes sont reliées à des moteurs, soit à gaz d'éclairage, soit à gaz à l'eau. Pour la production du gaz à l'eau, on a disposé quatre générateurs dont chacun est capable de produire du gaz pour environ 180 chevaux. Deux appareils suffisent ordinairement dans les temps de sécheresse.

Les frais d'installation de cette station de pompes se sont élevés à 1 400 000 marks, qui se répartissent de la façon suivante :

Fondations	200 000 marks
Bâtiments	260 000 —
Machines	716 000 —
Bâtiments annexes	115 000 —
Cours, jardins, canalisations	67 000 —
Divers	44 000 —
Total	1 400 000 marks

Le personnel de la station de pompes comprend un directeur, trois machinistes, trois chauffeurs et cinq hommes.

L'épuration des eaux se fait par les procédés biologiques. Quand la ville de *Wilmersdorf* a voulu procéder à l'épuration de ses eaux, il ne lui a pas été possible de trouver, dans le voisinage, des terrains appropriés pour l'épandage et de dimensions suffisantes. Elle a dû acheter à *Stahnsdorf*, pour le prix de 120 000 marks, un terrain de 54 hectares pour y installer l'épuration biologique. A ce terrain, on a ajouté ensuite 55 hectares, d'un prix plus élevé, afin de pouvoir épurer les eaux de *Schmargendorf*, de *Zehlendorf* et de *Teltow*. Le prix total des 67 hectares s'est élevé à 500 000 marks.

Les eaux sont amenées à l'épuration par une canalisation en fonte de 16 kilomètres 800 de longueur, qui a son point de

départ à la station de pompes de *Wilmersdorf*. Le diamètre de la canalisation, qui est de 850 millimètres au départ, est de 1 050 millimètres à l'arrivée à la station d'épuration. Cette canalisation a coûté à elle seule 3 600 000 marks.

STATION D'ÉPURATION PROPREMENT DITE. — L'installation a été faite pour l'épuration des eaux de 631 000 habitants :

Wilmersdorf	328 000 habitants
Schmargendorf	78 000 —
Zehlendorf	150 000 —
Teltow	75 000 —
TOTAL.	631 000 habitants

On a construit jusqu'ici les appareils nécessaires pour l'épuration des eaux de 200 000 habitants, en réservant pour plus tard l'extension de la station pour les 431 000 autres habitants. La production d'eau d'égout étant en moyenne de 108 litres par tête d'habitant et par jour, il a fallu tabler sur un volume d'eau à épurer, par temps sec, de 21 600 mètres cubes par jour.

L'eau envoyée par les pompes traverse d'abord un puits de répartition, puis se rend aux bassins de décantation. Ceux-ci sont au nombre de six. Chacun d'eux a une surface de 361 mètres carrés au fond et de 810 mètres carrés à la hauteur du niveau de l'eau. La profondeur est de 3^{m},15; le volume total de 1 800 mètres cubes. Les rebords et le fond sont bétonnés pour éviter toute infiltration. Le fond de chaque bassin est en pente des deux côtés vers une ouverture centrale par laquelle on peut évacuer les boues accumulées dans les bassins. Les six bassins sont réunis entre eux et, dans le travail normal, l'eau doit les traverser tous les six avant de se rendre aux appareils épurateurs. Quand un bassin est en nettoyage, l'eau traverse seulement les cinq autres, mais la hauteur d'eau y est élevée à 3^{m},50 au lieu de 3^{m},15, de sorte que la capacité totale des bassins de décantation reste sensiblement la même.

L'eau qui sort des bassins de décantation passe dans une chambre de 142 mètres carrés de surface, d'où elle est distribuée dans des lits bactériens percolateurs. La description du système répartiteur employé à cet effet a été donnée dans notre deuxième volume. Chaque envoi d'eau sur les lits est

inscrit par un enregistreur automatique, de sorte que le contrôle du fonctionnement se fait sans difficulté.

L'épuration s'effectue sur lits bactériens percolateurs à *Sprinklers* : ces lits sont au nombre de 56. Leur diamètre est de 20 mètres en moyenne, leur hauteur de $2^m,50$, leur volume de 785 mètres cubes. Les lits sont construits sur une base légèrement conique, dont la pente dirigée vers l'extérieur permet l'écoulement facile des eaux. Sur cette base sont maçonnées des rangées de briques qui constituent un drainage parfait. Une gouttière entoure chaque lit, et recueille l'eau épurée qui s'en échappe. Chaque gouttière porte une ouverture par laquelle l'eau s'écoule dans un canal souterrain pour se rendre à des bassins de décantation.

Les matériaux utilisés pour la construction des lits sont des morceaux de coke dont la grosseur varie de celle du poing à celle de la tête. A une hauteur de $1^m,25$ au-dessus du sol se trouvent 8 tuyaux dirigés suivant les rayons et percés de trous, afin d'assurer l'aération à l'intérieur des lits.

Le *Sprinkler* est constitué par quatre tuyaux en fonte de 10 centimètres de diamètre, percés de trous. Ces tuyaux tournent autour d'un axe situé au milieu du lit. L'axe est formé par un tube vertical de 20 centimètres de diamètre ; il plonge dans un joint de mercure dont la hauteur est calculée pour rendre impossible tout débordement d'eau. Les trous sont percés d'un seul côté sur les bras des *Sprinklers*, de manière que l'eau s'échappe horizontalement, pour tomber à la surface des lits. Le nombre des trous a été calculé de telle sorte que chaque mètre carré de surface de lit reçoive la même quantité d'eau, aussi bien au centre qu'au bord. L'extrémité des tuyaux est fermée par des bouchons faciles à enlever, afin de permettre le nettoyage intérieur des tuyaux au moyen de brosses.

Le temps qui s'écoule entre deux décharges sur les lits varie avec la quantité d'eau envoyée par les pompes. Il est, en moyenne, de 12 minutes, et l'écoulement dure de 1/2 à 1 minute. Chaque *Sprinkler* peut être isolé des autres et chargé séparément ; on peut étudier ainsi jusqu'à quel volume on peut pousser l'alimentation journalière sans nuire à l'épuration.

A la sortie des *Sprinklers*, l'eau s'écoule dans six bassins de décantation où elle se débarrasse des matières entraînées

par le passage à travers les lits. Chaque bassin a une surface de 140 mètres carrés au fond et de 460 mètres carrés à la hauteur du niveau de l'eau : son volume est de 910 mètres cubes. Leur construction est identique à celle des bassins de décantation de l'eau brute.

L'eau décantée peut alors être envoyée directement au canal, ou subir encore un traitement sur des filtres *Chorley*. Ces filtres ont une surface de 28 000 mètres carrés pour les 21 000 mètres cubes d'eau à traiter par jour, de sorte que chaque mètre carré reçoit en moyenne $0^{m^3},75$ d'eau par jour. Ces filtres ont pour but de compléter la séparation des fines matières en suspension et de réduire, en outre, le nombre des microbes de l'eau épurée. Le fond et les parois de chaque filtre sont maçonnés; la couche filtrante est formée par du sable dont l'épaisseur varie de $0^m,60$ à 0^m80 : un drainage permet l'évacuation de l'eau dans des fossés qui se raccordent au canal.

On a également prévu les dispositifs nécessaires pour l'enlèvement des boues. Une canalisation de 200 millimètres de diamètre est disposée à droite et à gauche des bassins de décantation de l'eau brute; cette canalisation se raccorde avec les ouvertures ménagées dans les bassins. Quand un bassin doit être vidé, on commence par évacuer, au moyen d'une pompe, l'eau décantée, puis on envoie par siphonnage la vase dans des bassins spéciaux. Ces bassins sont au nombre de 15; ils peuvent contenir environ 30 000 mètres cubes de boues.

Le personnel occupé à la station comprend un directeur et quatre gardiens.

La surface occupée par les appareils actuellement construits et par les filtres *Chorley* est de 12,2 hectares, non compris le terrain nécessaire pour le traitement des boues. Comme il faut réserver environ 21,5 hectares pour l'agrandissement ultérieur de la station, il reste donc 35 hectares pour le dépôt des boues.

La station fonctionne depuis septembre 1906 et on a pu déjà faire quelques constatations intéressantes. Pendant les périodes de froid de décembre 1906, le thermomètre est descendu à — 21°,5 c. : les trous des tuyaux des *Sprinklers* se sont bouchés par suite de leur diamètre trop étroit (5 millimètres),

bien que l'eau n'ait jamais eu une température plus basse que + 5°,5. Ce phénomène s'est produit surtout pendant la nuit, quand l'alimentation est faible : il s'écoule alors parfois plus d'une heure entre deux décharges successives, ce qui facilite la congélation de l'eau à l'orifice des trous. Après avoir élargi les trous des *Sprinklers* de manière à leur donner un diamètre de 10 millimètres, tout accident a disparu et le fonctionnement est devenu régulier.

D'autres difficultés ont eu pour cause la congélation de l'eau et l'accumulation de la neige dans les gouttières ouvertes qui entourent les lits. On a dû en surélever les bords et les couvrir pour éviter ces obstructions.

Les frais de construction et d'installation ont été les suivants :

Terrain	500 000	marks
Canalisation	3 500 000	—
Maçonnerie et terrassements	1 005 000	—
Lits bactériens	850 000	—
Filtres pour l'eau épurée	150 000	—
Téléphone	25 000	—
Bâtiments	95 000	—
Dispositifs pour recueillir les boues	15 000	—
Canalisation d'évacuation	360 000	—
TOTAL	6 500 000	marks

Les frais d'exploitation se sont élevés à 16 000 marks. pour l'année 1907, ainsi répartis :

Salaires	9 400	marks
Traitement des boues	1 600	—
Entretien	2 000	—
Recherches chimiques et bactériologiques	3 000	—

Il est juste de faire remarquer que les frais d'installation comprennent toute la canalisation d'adduction et tout le terrain nécessaire pour l'agrandissement ultérieur. La dépense par tête d'habitant sera donc considérablement réduite après la réalisation complète de l'installation pour les 651 000 âmes de *Wilmersdorf*, *Schmargendorf*, *Zehlendorf* et *Teltow*.

CHAPITRE XXVI

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE DES EAUX D'ÉGOUT EN ANGLETERRE ÉCOSSE ET IRLANDE

Nous avons décrit, dans le deuxième volume de ces Recherches, les dispositifs d'épuration biologique réalisés dans quarante-deux villes du Royaume Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande, d'après les documents qu'il nous avait été possible de nous procurer. Dans quelques-unes de ces villes, particulièrement à *Birmingham*, de très importants progrès ont été réalisés depuis l'année dernière. Nous avons tenu à aller les étudier sur place et nous rapportons ci-après les résultats de notre nouvelle enquête.

Lorsqu'on constate l'énorme chemin parcouru par nos voisins d'Outre-Manche en matière d'assainissement des villes; lorsqu'on voit avec quelle méthode les procédés d'épuration biologique ont été expérimentés, puis appliqués par eux, on est en droit de se demander pourquoi en France nous en sommes encore à disserter sur la valeur respective de ces procédés et de l'épandage!

Grâce à la complaisance des administrations sanitaires de *Londres*, de *Dublin*, et d'*Edimbourg*, nous avons pu obtenir la liste officielle des villes autorisées par le *Local Government Board* à traiter leurs eaux d'égout par les divers systèmes d'épuration biologique (septic-tanks, lits bactériens de contact ou lits à percolation).

En mars 1907, *ces villes ou localités étaient au nombre de* 231 *pour l'Angleterre seule*, *de* 15 *pour l'Irlande et de* 38 *pour l'Écosse*, *soit* 284 *pour tout le Royaume Uni!*

En voici l'énumération par ordre alphabétique pour chaque pays.

ANGLETERRE

Alford.
Altofts.
Altrincham.
Alvaston and Boulton.
Andover.
Ardsley.
Ashton-in-Makerfield.
Ashton-under-Lyne.
Aylesbury.
Baildon.
Barnsley.
Barrowford.
Barwick in Elmet (Tadcaster R. D.).
Batley.
Belper.
Bilston.
Bingley.
Birmingham.
Birstall.
Bolsover.
Bolton.
Bracknell (Easthampstead R. D.).
Bradford-on-Avon.
Bredbury and Romilly.
Brentwood.
Brierfield.
Brighouse.
Buckhurst Hill.
Burnley.
Burslem.
Burton-on-Trent.
Cambridge.
Cannock.
Carlisle.
Carlton.
Chard.
Cheam.
Cheltenham.
Chertsey.
Cheshunt.
Chester.
Chipping Ongar.
Chorley.
Church Stretton.
Clay Cross.
Cobham.
Colchester.
Congleton.
Coventry.
Crewe.
Croydon.
Darfield.
Darwen.
Devizes.
Dorchester.
Drayton-in-Hales.
Drighlington.
Droylsden.
Durham.
Ealing.
East Barnet Valley.
Eccles.
Edmonton.
Epsom.
Ewel.
Exeter.
Failsworth.
Farnborough.
Featherstone.
Fenny Stratford.
Fenton.
Festiniog.
Finchley.
Frimley.
Fulwood.
Gelligaer and Rhigos.
Godstone.
Gomersal.

Gorton.
Grays Thurrock.
Greasborough.
Great Ouseburn.
Greetland.
Guildford.
Hale (Bucklow, R. D.).
Halifax.
Hanley.
Hanwell.
Harold Wood (Romford, R. D.).
Harrogate.
Harrow-on-the-Hill.
Hartley Wintney.
Havant.
Haworth.
Hayes.
Heaton Norris.
Hendon.
Heston and Isleworth.
Heywood.
Hindley.
Holmfirth.
Hornchurch (Romford R. D.).
Hornsey.
Horsforth.
Horwich.
Hoyland Nether.
Hucknall-under-Huthwaite.
Huddersfield.
Hyde.
Ilford.
Ilkley.
Itchen and Bitterne.
Keighley.
Kendal.
Kenilworth.
Kettering.
Keymer, Clayton, and Hurtspierpoint, (Cuckfield, R. D.).
Killybebill, etc... (Portmadoc, R. D.).
Kingswood.
Kirkby-in-Ashfield.
Kirkheaton.
Knottingley.
Launceston.
Leatherhead and Ashtead.
Leeds.
Leek.
Leiston-cum-Sizewell.
Lichfield.
Littleborough.
Longton.
Luddenden Foot.
Ludlow.
Lutterworth.
Lytham.
Maesteg.
Maidstone.
Malvern.
Manchester and Salford.
Marlborough.
Melksham.
Meltham.
Middleton.
Midhurst.
Milton near Sittingbourne.
Monmouth.
Morley.
Morpeth.
Mountain Ash.
Nelson.
Neston and Parkgate.
Newcastle-under-Lyme.
Newmarket.
New Mills.
Newport (Salop).
Newport Pagnall.
Normanton (Shardlow R. D.).
Northallerthon.
Nuneaton and Chilvers Coton.
Nutfield (Reigate R. D.).
Ogmore and Garw.
Oldham.
Ossett.
Ottery St. Mary.
Oxted and Limpsfield.
Pembury.
Pontefract

Pudsey.
Pwllheli.
Quorndon.
Radstock.
Ramsbottom.
Reading.
Reigate.
Rhymney.
Rickmansworth.
Ripon.
Rishton.
Romford.
Rotherham.
Roundway (Devizes R. D.).
Rugeley.
Saffron Walden.
Sale.
Salisbury.
Sheffield.
Shere (Guildford R. D.).
Shipley.
Sittingbourne.
Skipton.
Sleaford.
Southport.
Sowerby Bridge.
Staines.
Stamford.
Stanford-le-Hope.
Stockport.
Stratford-upon-Avon.
Stroud (R. D.).
Sudbury.
Sunbury.
Sutton-in-Ashfield.
Swinton and Pendlebury.
Tadcaster.
Taunton.
Thurnscoe.
Todmorden.
Tollesbury (Maldon, R. D.).
Totnes.
Trowbridge.
Tunstall.
Twickenham.
Uttoxeter.
Walthamstow.
Wantage.
Wellington (Salop).
Wellington (Somerset).
Wells.
West Bridgford.
West Bromwich.
Wigston Magna.
Willesden
Wilmslow.
Wilton.
Withington.
Witney.
Woking.
Woodford.
Woodhall Spa.
Worcester.
Yardley.
Yeovil.

ÉCOSSE

	Population (1902)		Population (1902)
Armadale	5 921	*Bothwell*	5 015
Auchterarder	2 246	*Bridge of Weir*	2 242
Bannockburn	2 444	*Cleland*	2 729
Barrhead	9 855	*Cowdenbeath*	7 467
Bathgate	6 486	*Dalry*	5 516
Beith	4 965	*Donne*	950
Blantyre	2 521	*Dumfries*	15 092
Bonnybridge	5 009	*Falkland*	809

Kilbirnie and Glengarnock	6 658	***Lockerbie***	2 558
Haddington	3 995	***Lochwinnock***	2 126
Hamilton	32 775	***Maxwelltown***	5 796
Holytown	4 485	***Molfat***	2 455
Hurlford	4 601	***Neilston***	2 668
Kelty	3 986	***Newmains***	2 755
Kilmacoln	2 220	***Newton***	2 159
Larnock	5 084	***Penicnik***	2 805
Linlithgon	4 279	***Rattray***	2 019
Lochmaben	1 051	***Strathaven***	4 076
		Uddingston	7 465

IRLANDE

	Population		Population
	—		—
Antrim (county asilum)		***Greystones***, rural district	»
Armagh, Urban district	7 588	***Lisburn***, Urban district	11 461
Belfast city	349 180	***Macroom***, Urban district	3 016
Cartleblaynay, Urban district	1 576	***Milford town***	»
Clones, Urban district	2 068	***Monaghan*** (Lunatic asylum)	»
Delgany, rural district	»	***Mountmelick union***	»
Enniskerry, rural district	»	***Rathdown Workhouse***	»
Foxrock, rural district	»		

Quelques-unes de ces installations, parmi les plus récentes, nous ont fourni des renseignements dont il importe que nous fassions notre profit. En voici le bref exposé :

I. — Bilston.

La ville de *Bilston* vient de terminer son installation d'épuration des eaux d'égout. La population était, en 1901, de 24 034 habitants et, d'après le taux d'accroissement annuel, on a calculé qu'en 1931 la ville abriterait 25 870 habitants. C'est d'après ce dernier nombre qu'on a évalué que le volume d'eau d'égout à traiter par jour serait à cette époque de

2550 mètres cubes par temps sec. C'est pour ce volume que l'installation a été construite.

Les égouts reçoivent non seulement les eaux ménagères, mais une grande quantité d'eaux résiduaires d'usines de galvanisation. Le mélange de ces eaux étant normalement acide, la méthode d'épuration biologique par fosses septiques et lits bactériens n'était pas applicable sans modifications. Les fosses septiques ont été remplacées par des bassins de décantation où les eaux, additionnées de chaux, laissent déposer le précipité obtenu. Ces bassins mesurent 55 mètres de long, $7^{m},20$ de large et $1^{m},80$ de profondeur moyenne. Leur capacité est de 2000 mètres cubes, soit environ le volume d'eaux d'égout émises en $20^{h},1/2$ par temps sec pour la population future.

La boue qui se déposera au fond des bassins sera évacuée dans un conduit couvert placé sous le canal distributeur des lits bactériens, d'où elle s'écoulera dans une fosse où des pompes la puiseront pour l'épandre sur les terrains environnants.

L'eau décantée sera distribuée sur 8 lits bactériens à percolation qui ont 9702 mètres carrés de surface, capables de traiter trois fois le volume d'eau d'égout par temps sec, à raison de $0^{mc},722$ par mètre carré et par jour

A ces lits sont adjoints 4 lits bactériens d'orage de 5055 mètres carrés de surface, pour traiter tout l'excédent au-dessus de trois fois le volume émis par temps sec. Ces lits d'orage pourront épurer 2715 litres par mètre carré et par jour.

Les lits sont formés de matériaux disposés de la façon suivante : $0^{m},50$ de scories dures cassées, passant au crible de 25 millimètres, mais retenues par celui de 6 millimètres; $1^{m},05$ de scories dures et calcinées, provenant de l'industrie métallurgique, passant au crible de 6 millimètres, mélangées à du sable sans argile, passant au crible de $1^{mm},5$ dans la proportion d'une partie de sable et deux parties de scories. La surface supérieure est formée d'une couche de 15 centimètres de sable sans argile, permettant le passage de l'eau sans colmatage. Les filtres d'orage ont une composition semblable, mais la couche moyenne n'a que 80 centimètres et la

couche superficielle de sable n'a que 10 centimètres d'épaisseur.

Le drainage du fond des lits est obtenu par des tuyaux perforés qui conduisent l'eau épurée dans un terrain de 5 hectares 1767 mètres carrés où elle est irriguée avant son déversement au ruisseau.

La distribution à la surface des lits se fait par des demi-tuyaux ronds, chaque tuyau étant réglé par des vannes dans le canal distributeur et par des arrêts.

Le devis total de l'installation, y compris les égouts pour amener les eaux, machines, etc., s'élève à 1 300 000 francs.

II. — Birmingham.

Nous avons déjà décrit dans le volume II de ces Recherches (p. 85 et suivantes), la station d'épuration biologique d'eaux d'égout que la ville de *Birmingham* a créée à *Tyburn*. Cette station est actuellement la plus parfaite, sinon la plus importante de tout le Royaume Uni. Elle comportait, au 1er janvier 1907, 11 lits bactériens de divers systèmes, couvrant ensemble une surface totale de 2 hectares 61 ares.

Nous l'avons visitée de nouveau en juillet 1907 et nous croyons utile d'indiquer ci-après les renseignements que nous avons pu recueillir sur son fonctionnement.

Bien qu'ils doivent être doublés dans un très bref délai, les lits bactériens déjà existants ont permis d'épurer en 1906, dans les conditions les plus satisfaisantes, 5 547 046 mètres cubes d'eaux d'égout, soit en moyenne 15 197 mètres cubes par jour.

Presque tous les types de distributeurs mécaniques y ont été étudiés. Ceux qui, dans les expériences préliminaires, avaient fourni les meilleurs résultats, ont été conservés.

L'installation comporte aujourd'hui 4 lits circulaires et 7 lits rectangulaires.

Les lits circulaires, construits en élévation, ont respectivement une superficie de 1070 mètres carrés, 986 mètres carrés, 1005 mètres carrés et 978 mètres carrés. La hauteur du premier est de 1m,80; celle des trois autres de 2m,10.

Le premier lit, en scories dures, est alimenté par un distributeur rotatif intermittent de *Mather and Platt* qu'actionne un moteur électrique.

Le second, en gravier, portait au début un distributeur d'*Adams* (type de *Barker Mill*) ; ayant été mis hors d'usage, on substitua en novembre 1905 à ce dernier, un autre modèle connu sous le nom de *Cressett type*.

Le troisième, en briques bleues concassées, est alimenté par un rotatif *Scott-Moncrieff* mû par un électro-moteur. Le quatrième, en quartzite de Hartshill, porte un distributeur de *Candy-Wittaker-Bryant* dont l'axe tourne dans du mercure et qui dut être déjà remplacé une fois par suite d'avaries à l'axe et aux bras, en décembre 1906.

Tous les lits rectangulaires sont exclusivement pourvus de becs pulvérisateurs ou *fixed sprey jets, de Ham, Baker et C°*. Les uns sont construits, partie en gravier ou en briques bleues concassées, partie en scories ; les autres en quartzite de *Hartshill*. Ce quartzite, très compact, a été définitivement adopté pour tous les nouveaux ouvrages. Il est très supérieur aux autres matériaux en raison de sa durée indéfinie, tandis que les scories sont presque toujours friables.

Étalé sur une sole entièrement couverte de tuiles faîtières renversées, formant drainage, on le dispose en deux couches : l'une inférieure, sur 1m,50, en petits morceaux de 5 centimètres de diamètre environ, l'autre supérieure, sur 0m,30, en gros morceaux de 7 à 8 centimètres. Sur cette dernière reposent horizontalement les tuyaux de distribution pourvus de leurs becs pulvérisateurs.

Les lits sont simplement encadrés par des murs en pierre sèche (granit) et, tout autour de chacun d'eux, un drain collecteur réunit les eaux épurées pour les conduire à des bassins de repos où elles se débarrassent des *films* ou particules solides qu'elles tiennent en suspension. Elles sortent de ces bassins parfaitement limpides et inodores, seulement un peu jaunâtres parce qu'elles renferment une proportion assez élevée d'oxyde de fer.

Les lits rectangulaires nouvellement construits ont tous une superficie de 4000 mètres carrés et une hauteur de 1m,80. Ils épurent très aisément 850 litres par mètre carré et par

jour, en moyenne. On arrête leur fonctionnement de temps en temps pour nettoyer les pulvérisateurs ou pour les réparations. La moyenne des temps d'arrêt ne dépasse pas au total 25 jours par an.

Le coût de chacun d'eux a été 177 000 francs, y compris les travaux de terrassements, de cimentage de la sole, les drains, les murs en pierres sèches, les tuyaux de distribution en fonte et les becs pulvérisateurs.

Cette somme représente un prix de revient de 44 fr. 25 par mètre carré.

Les frais d'entretien annuels ne dépassent pas 1 centime par mètre cube d'eau traitée, soit 10 francs par 1000 mètres cubes.

Ces chiffres, établis d'après une expérience méthodiquement conduite depuis plus de cinq années, peuvent donc servir de base aux évaluations de dépenses qu'aurait à faire une ville pour créer une installation d'épuration biologique de même genre.

III. — Caversham (District urbain).

La population, qui s'accroît rapidement, est estimée à 7 500 habitants. Le volume moyen d'eau d'égout par 24 heures est de 1000 mètres cubes, mais le *Local Government Board* a exigé que l'installation soit suffisante pour traiter le double, soit 2 000 mètres cubes par 24 heures. L'eau doit être relevée et le travail des pompes dure 16 heures. Les égouts sont du système séparatif; les eaux de surface sont conduites directement à la rivière. Le sewage est presque complètement composé d'eau ménagères. Comme industries, le dictrict ne possède que deux blanchisseries.

L'irrigation ayant été reconnue pratiquement impossible, depuis 1896 le sewage était traité par précipitation chimique, passant dans trois bassins de décantation, puis sur lits de polarite, et enfin envoyé en irrigation sur la terre.

Dans la nouvelle installation qui vient d'être mise en service cette année, les eaux arrivent dans un bassin collecteur d'où elles sont pompées pour être élevées dans quatre fosses de dépôt ouvertes. Chacun de ces bassins peut être employé

séparément ou simultanément avec les autres, il a une capacité de 196 mètres cubes. D'après les expériences préliminaires, il a été trouvé que les bassins doivent être nettoyés tous les six mois. La boue est refoulée par pression d'air sur le sol où elle sèche et peut être employée comme amendement.

L'effluent des bassins de décantation se rend dans un canal qui le distribue à trois chambres munies chacune de trois siphons qui s'amorcent automatiquement et déversent alors l'eau par des Sprinklers *Candy-Wittaker*. Lorsque la chambre est vide, le siphon se désamorce; on obtient ainsi des alternatives d'irrigation des lits. Le canal de distribution est muni d'un déversoir qui conduit l'excédent de l'eau à traiter dans le canal d'évacuation des eaux d'orage. Celles-ci sont déversées sur les terres. Chaque lit doit traiter 508 litres d'eau par mètre cube de matériaux. Ces matériaux sont disposés de la façon suivante :

1°	0m,30	de scories de	75mm.
2°	0m,15	—	37 à 25mm.
3°	1m,05	—	18 à 9mm.
4°	0m,30	—	37 à 18mm.

A l'extrémité du canal d'évacuation des lits se trouve une chambre à gravier pour retenir les scories et autres matières qui pourraient être entraînées. De là, l'eau s'écoule à la rivière.

IV. — Chesterfield.

La ville de *Chesterfield* s'est accrue d'une façon sensible depuis un certain nombre d'années. De 11 590 habitants en 1877, la population est passée à 25 000 en 1892 et est aujourd'hui d'environ 29 000 habitants.

Avant 1877, les égouts se rendaient dans quelques petits bassins dans lesquels les eaux laissaient déposer une partie des matières en suspension avant de se jeter à la rivière. A cette époque il fut décidé de pratiquer l'irrigation terrienne des eaux d'égout.

Ces eaux contiennent les eaux ménagères et aussi une quantité considérable d'eaux résiduaires (tanneries, bras-

series, etc.), ce qui amène de grandes variations et dans la quantité et dans la composition. Le volume rejeté par vingt-quatre heures est d'environ 2 900 mètres cubes.

L'administration fit l'achat de 20 hectares 25 ares de terrains, mais ces terrains, composés d'argile compacte, convenaient mieux à la fabrication des briques qu'à la filtration intermittente. Ils furent drainés avec des drains de 15 centimètres, posés en lignes étroites à des profondeurs variant de $0^{m},90$ à $1^{m},50$ et à une distance de 30 mètres. Leur effluent était collecté par de gros drains qui conduisaient les eaux à la rivière.

A mesure que la population augmentait d'importance, la qualité de l'eau épurée diminuait de plus en plus.

Pour faciliter l'irrigation terrienne, on la fit précéder en 1894 d'une épuration chimique au moyen de *sulfate d'alumine*, *de sulfate ferreux* et *de chaux*. Les boues de précipitation étaient pressées.

Cette nouvelle méthode de traitement n'améliorant pas sensiblement la qualité de l'eau épurée, en 1896 on entreprit des essais d'épuration biologique.

La pulvérisation de l'eau sur les lits bactériens donna de bons résultats, mais il se répandait au loin des odeurs désagréables. Cet inconvénient, joint aux frais élevés exigés par le pompage pour obtenir l'eau sous pression, firent abandonner cette méthode.

Actuellement les eaux sont traitées de la façon suivante :

Les eaux d'égout traversent des fosses à détritus dans lesquelles la rapidité du courant étant diminuée, une grande partie de matières lourdes minérales se dépose. Une grille retient les matières flottantes.

Au sortir de ces fosses, les eaux sont réparties dans 3 fosses septiques de 1 015 mètres cubes de capacité chacune, dont deux sont en usage pendant que la 3e est en nettoyage, de sorte que, pour un volume moyen journalier de 2 270 mètres cubes par temps sec, le séjour des eaux en fosse septique est d'un peu moins de 24 heures. Les matières organiques solides sont en partie dissoutes dans ces fosses, mais une certaine quantité se dépose à l'état de boues qui sont extraites, pressées et vendues aux fermiers.

L'effluent des fosses septiques se rend dans un bassin d'où il est pompé pour être distribué sur 12 lits bactériens aérobies munis de sprinklers rotatifs qui ont été construits sur les indications de M. *Tomlinsen*. Ces lits sont de deux grandeurs : 6 ont $1^m,40$ et 7 ont $1^m,80$. L'ensemble peut traiter, au taux de 500 litres par mètre carré de lit, 9550 mètres cubes par jour, soit quatre fois le volume de l'eau d'égout émise en 24 heures, par temps sec. Les matériaux employés sont les scories, mais comme elles n'étaient pas en quantité suffisante, on a construit quelques lits avec des débris de terre cuite de 5 à 22 millimètres.

La force motrice nécessaire pour le pompage des eaux est produite par la vapeur obtenue par combustion des ordures dans un four *Horsfall*.

V. — Oldbury.

Le sewage de cette ville est particulièrement difficile à épurer par suite de la présence d'un certain nombre de composés des eaux résiduaires d'usines à gaz. Ces eaux entrent dans le volume du sewage, par temps sec, dans la proportion de 9 pour 100. Elles contiennent :

Sulfocyanates	$1^{gr},558$
Hyposulfites	$0^{gr},468$
Phénols	$1^{gr},401$
Bases du goudron	$0^{gr},040$
Azote albuminoïde	$0^{gr},142$

Les premiers essais d'épuration par les procédés biologiques, septic tank et deux contacts sur lits bactériens, ne donnèrent de résultats satisfaisants qu'en faisant dégager préalablement les gaz dissous. Plus tard de bons résultats furent obtenus par séjour en septic tank et trois contacts successifs sur lits bactériens. L'application de cette méthode à des volumes plus importants donne actuellement un effluent suffisamment épuré.

VI. — Macclesfield.

La population de *Macclesfield* est d'environ 36 000 habitants. Le volume de l'eau d'égout par temps sec est approximativement de 4 540 mètres cubes par jour.

A l'entrée de l'installation d'épuration, les eaux débouchent dans une fosse à sable munie de deux déversoirs de trop plein. Le premier, le plus bas, recueille les eaux lorsque le débit est de trois à six fois le débit normal, et les conduit en irrigation sur les terres. Le deuxième, plus élevé, ne fonctionne que lorsque le débit est de six fois le débit normal et évacue les eaux directement à la rivière.

Les fosses septiques, qui suivent la fosse à sable, proviennent de la transformation des bassins de décantation employés auparavant pour l'épuration chimique. Leur capacité totale est égale au volume des eaux émises par temps sec. Les boues sont expulsées à l'extrémité la plus basse par des tuyaux de $0^{m},30$ qui les conduisent dans une fosse où elles se décantent. L'entrée et la sortie des eaux dans les fosses sont immergées et commandées par des vannes.

L'effluent des fosses septiques se rend dans un bassin de jauge d'où il est déversé à doses égales sur les lits percolateurs.

Les 4 lits percolateurs ont 36 mètres de diamètre et 2 mètres de profondeur moyenne, donnant pour chacun une surface de 1 012 mètres carrés. Les lits sont formés de pierres cassées et criblées des carrières de *Bollington*. Le drainage du fond est formé de tuiles espacées de 1 mètre. La distribution des eaux à la surface des lits est obtenue par des sprinklers à quatre bras, de *Mather and Platt*, de *Manchester*, munis de moteurs électriques de 1 demi-cheval, placés au centre de chaque distributeur, ce qui permet la rotation, même par les vents les plus violents. En temps ordinaire les

sprinklers tournent facilement par suite de la différence de niveau de 0m,76 qui existe entre le bassin de jauge et la surface des lits. Le bassin de jauge est muni d'une vanne à balancier qui s'ouvre lorsque le bassin est plein et décharge un certain volume d'eau sur les lits.

L'effluent des lits percolateurs se rend dans un bassin collecteur qui permet de l'envoyer, soit en irrigation, soit sur un lit secondaire. Ce second lit mesure 124m,55 de long, 22m,60 de large et 0m,55 de profondeur. Sa surface est de 4 047 mètres carrés. Il est composé de scories et, à sa partie supérieure, d'une couche de débris de terre cuite finement criblés. Les matériaux ont été posés directement sur le sol excavé. L'effluent des lits percolateurs est distribué sur la surface du second lit au moyen de rigoles formées de demi-tuyaux en poterie. L'écoulement est réglé par des vannes à main, de façon à ce que le lit travaille en quatre sections. L'effluent final peut être, soit envoyé en irrigation sur les parties basses des terres avoisinantes, soit rejeté à la rivière.

Le coût total a été de 550 000 francs.

La mise en service a été faite en mars 1907.

VII. — Withington (près *Manchester*).

L'installation d'épuration est située à *Chorlton-cum-Hardy*, à l'extrémité occidentale du district de *Withington*, dans un angle fermé à l'ouest et au sud par la rivière *Mersey*.

On commença par y faire de l'épuration agricole. La ferme est aujourd'hui remplacée par une station d'épuration biologique dont le plan est figuré ci-après (voir *fig.* 46).

Les conditions locales obligèrent à relever une partie du sewage au moyen de pompes. Celui provenant de la partie basse du district et de *Levenshulme* arrive seul par gravitation.

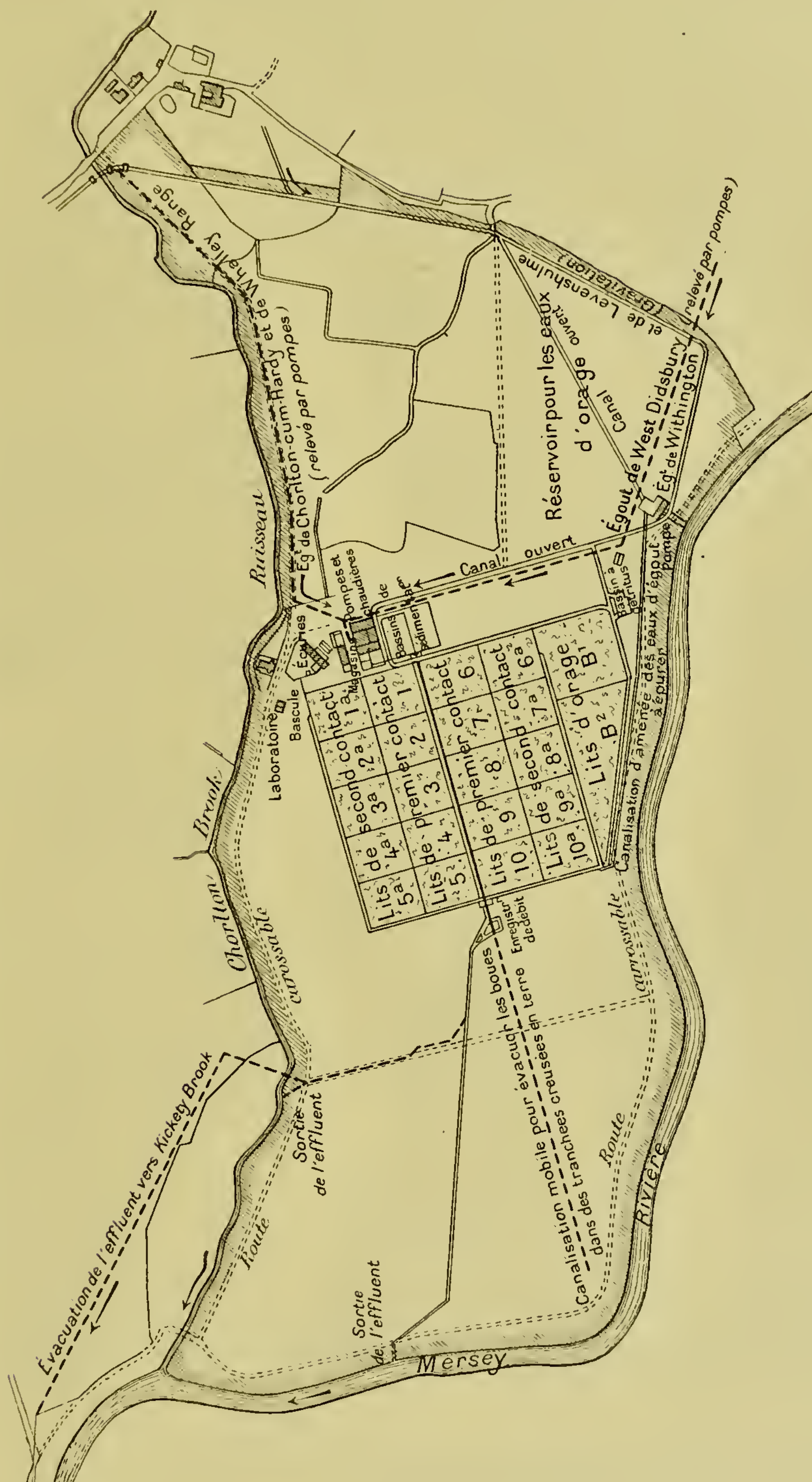


Fig. 46. — Station d'épuration biologique de Withington.

En période de hautes eaux, l'effluent épuré, au lieu d'être déversé directement dans le *Chorlton Brook*, petit affluent au nord de la *Mersey*, passe en siphon sous ce ruisseau et est évacué dans le *Ousel Brook*, près du cimetière de *Stretford*, à un demi-mille de la station.

Un réservoir d'orage d'une surface de 9 acres (3 hectares, 6455 mètres carrés) et un poste de pompes ont été construits pour desservir *Didsbury* et *Chorlton-cum-Hardy*. Ce réservoir était nécessaire à cause du relèvement du niveau de la *Mersey* en hautes eaux.

La population des districts de *Withington* et de *Levenshulme* est actuellement de 59 000 habitants (1907). Elle produit en temps sec environ 3 000 000 de gallons (13 620 mètres cubes) par 24 heures, ou 51 gallons (231^{lit},54) par tête et par jour.

Le flot moyen quotidien (y compris les eaux d'orage) du 28 mars 1906 au 27 mars 1907 a été de 4 199 990 gallons (19 068 mètres cubes) ou 71,2 gallons (323^{lit},25) par tête et par jour.

On estime que près de 50 pour 100 de ce volume sont fournis par les eaux du sous-sol, lesquelles sont collectées par des canalisations d'égout anciennes et défectueuses.

La moitié du volume total est relevée par des pompes centrifuges dans un canal voisin de la station.

Le procédé d'épuration adopté est la sédimentation, avec le système des lits bactériens à double contact.

La station comprend : 4 pompes centrifuges, des dynamos, 2 moteurs électriques pour actionner les grilles, 2 fosses à sables, 2 bassins de sédimentation, 1 fosse à boue, 2 presses à boues, 10 lits bactériens de premier contact occupant chacun une surface de 2 900 yards carrés (2 425 mètres carrés); 10 lits de second contact de même surface; enfin 2 lits d'orage ayant respectivement l'un 6 440 yards (5 385 mètres carrés) et l'autre 6 055 yards carrés de superficie (5051 mètres carrés).

La force motrice est fournie par deux chaudières Lancashire alimentées par les foyers d'un four à incinérer les ordures.

Enfin on dispose, pour les temps d'orage, d'une pompe centrifuge supplémentaire actionnée par un moteur à gaz.

La surface totale de terrain appartenant à la station est de

81,5 acres (32 hectares 9850 mètres carrés) divisés ainsi qu'il suit :

	Acres	Hectares m²
Grilles, fosses à sables et bassins de sédimentation, constructions et fosse à boues, dégagements et divers	2	0,8094
Réservoir pour les eaux d'orage	9	3,6433
Lits bactériens	12	4,8564
Lits bactériens d'orage	2.5	1,0111
Ensemble	25,5	10,3202

Le reste du terrain, soit 56 acres (22 hectares 6629), est occupé par des cultures.

Les dépenses effectuées pour le traitement du sewage se sont élevées pour 12 mois à 3859 livres (96475 francs) non compris l'intérêt du capital de premier établissement.

Le coût total par million de gallons est de 2 livres, 10 sh. 5d. 8, soit 8^{fr},56 par 1000 mètres cubes, qui se répartissent ainsi qu'il suit :

	L. sh. d.
Traitement des boues (manipulations, presses, etc.)	0, 3,7,7
Filtration et pompes	0,11,8,9
Incinération des détritus	0,11,6,7
Divers et dépenses accidentelles	1, 3,6,5

10 acres de terres de cultures (4 hectares,470) affermées, produisent une rente annuelle de 29 livres 10 sh. par an (487^{fr},50), qui viennent en déduction des frais sus-mentionnées.

En un an, on a séparé au moyen des grilles et inciné dans le « destructor » 564 tonnes de détritus, pour la combustion desquels on a consommé pour 33 livres 5 sh. 7 d. de coke (831^{fr},95).

On en a obtenu 2714 tonnes de scories qui ont été vendues pour charger les routes à un prix total de 113 livres, 3 sh. 6 d. (14129^{fr},35).

Les objets de verre, de fer ou d'étain provenant du triage des détritus ont été également vendus et ont produit 11 livres, 10 sh. 7 d. (1388^{fr},20).

Variations du volume de sewage traité. — Le plus grand volume enregistré par 24 heures a été de 22881460 gallons, le 19 octobre 1906 (103882 mètres cubes).

Le minimum du volume moyen par tête a été de 39,6 gallons (180 litres) en août 1906 et le maximum de 110,2 gallons en décembre (500 litres).

Périodes de 4 semaines finissant les :	Débit des égouts — Total gallons.	Débit des égouts — Débit moyen par jour et par tête.	Pluie en pouces.
25 avril 1906	93 057 603	56,3	0,93
23 mai	96 507 568	58,4	2,79
20 juin	91 227 841	55,2	1,12
18 juillet	86 524 706	52,4	2,29
15 août	86 654 841	52,5	2,07
12 septembre	65 575 191	39,6	1,55
10 octobre	86 911 416	52,6	2,56
7 novembre	157 207 016	95,1	5,95
5 décembre	152 648 096	92,4	2,98
2 janvier 1907	182 106 558	110,2	5,15
30 janvier	142 572 191	86,2	0,85
27 février	136 089 015	82,4	1,46
27 mars	152 115 043	92,1	2,44
Total pour 52 semaines.	1 528 796 863	moyenne 71,2	27,88
Soit. . .	6 940 739 m³	323 lit,25	708 mm,15

Le nombre de jours qui ont fourni une quantité d'eau de pluie mesurable en 52 semaines a été de 219.

Traitement des boues. — Les boues sont évacuées dans des tranchées creusées parallèlement les unes aux autres, et dès qu'elles sont suffisamment denses, on les recouvre de terre.

La table ci-après indique les quantités de boues extraites des différents bassins pendant l'année :

Bassins à détritus grilles et fosses à sable — Tonnes	Bassins à détritus grilles et fosses à sable — °/o d'eau	Bassins de sédimentation — Tonnes	Bassins de sédimentation — °/o d'eau	Total — Tonnes	Grilles détritus — Tonnes évacuées par wagonnets
5 112	82,6	13 560	84,4	18 672	325,5

On a extrait, au total, 18 672 tonnes de boues, soit 12,1 tonnes par million de gallons (2 732 kilogrammes par 1 000 mètres cubes).

D'après sept déterminations effectuées à différents intervalles, les boues des bassins de sédimentation contenaient 19,8 pour 100 (calculés sur la matière sèche) de graisses extractibles par le tétrachlorure de carbone.

Traitement de l'effluent des bassins de sédimentation sur les lits bactériens. — Les résultats d'analyses fournis par l'effluent des lits peuvent être résumés comme suit :

Moyennes annuelles des résultats d'analyse (en milligr. par litre).

	EAU BRUTE	Effluent des bassins de sédimentation	Lits de 1er contact	Lits de 2e contact	LIT D'ORAGE	EFFLUENT MOYEN final
Oxygène absorbé en 4 heures (du permanganate).	30,1	23,1	7,8	4,7	9,1	5,5
Ammoniaque libre ou saline.	19,7	21,6	10,1	5,3	12,6	7,7
Azote albuminoïde.	2,8	2,3	0,8	0,5	0,9	0,55
Nitrites.	»	»	0,5	0,2	0,3	0,25
Nitrates	»	»	2,0	4,6	2,3	4,1
Matières en suspension totale.	111	42	»	»	»	»
— — minérales.	51	21	»	»	»	»

Quantités moyennes d'eaux traitées par mq. et par jour:

	GALLONS
Lits de 1er et de 2e contact.	571 613
Lits d'orage	309 103
Ou par mètre carré et par jour :	
Lits de 1er et de 2e contact	641 litres
Lits d'orage	346 litres

CHAPITRE XXVII

L'ÉPURATION BIOLOGIQUE DES EAUX D'ÉGOUT AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Nous avons exposé dans le volume II de ces Recherches les études expérimentales sur l'épuration biologique des eaux d'égout qui ont été effectuées en 1904 et 1905 par M. *George A. Johnson* à *Columbus* (Ohio).

D'autres villes américaines ont entrepris depuis lors des essais anologues. Nous avons pu connaître leurs résultats par les notes publiées par *Engineering Record* et par les rapports officiels du *Massachussets Institute of Technology, de Boston*, que MM. *C. E. A. Winslow* et *Earle B. Phelphs* ont bien voulu nous adresser. Nous les résumons ci-après.

1. — Station d'essai d'épuration d'eau d'égout à Baltimore (*fig. 47*).

Il est toujours très important d'étudier les caractéristiques de l'eau d'égout d'une grande ville avant d'établir les plans de l'installation d'épuration, et la station d'essai de *Baltimore* est intéressante par ses dispositions. Elle comprend un septic tank et deux lits à percolation divisés chacun en 6 compartiments séparés, ayant chacun un bassin de sédimentation. Un laboratoire et un magasin y sont adjoints.

Le septic tank, construit en béton, a pour dimensions 9^m,15 × 3^m,05 × 2^m,44. Le fond converge vers 3 sorties fermées par des vannes pour l'épuration des boues dans un drain. Ce septic tank est précédé d'une chambre à grilles de 1^m,50 de long, 0^m,90 de large et de 1^m,40 de profondeur, qui possède aussi un orifice d'évacuation des boues.

Au sortir du septic tank, les eaux se rendent dans une chambre de contrôle de laquelle partent au fond le tuyau d'amenée aux lits et en haut un tuyau de trop plein.

Le tuyau qui conduit l'effluent du septic tank aux lits se divise en trois, de façon à pouvoir diriger le courant soit aux lits, soit à la rivière, sans traitement..

Les deux lits sont semblables, leur diamètre est de $8^{m},275$. Le fond, couvert de drains spéciaux, est divisé en trois secteurs permettant d'avoir des lits de différentes hauteurs qui sont $1^{m},83$, $2^{m},74$ et de $3^{m},65$; il y a six compartiments : deux pour chaque hauteur, séparés par des cloisons.

Les matériaux de remplissage sont formés de pierres dures cassées, de 4 sortes : n° 1, de $2^{cm},7$ à 5 centimètres ; n° 2, de 6 à $7^{cm},5$; n° 3 de $6^{cm},75$ à 10 centimètres; n° 4 de 10 à 14 centimètres. Les lits sont garnis de ces pierres en différentes épaisseurs et dispositions pour déterminer celle qui est la plus convenable pour le traitement des eaux de *Baltimore*.

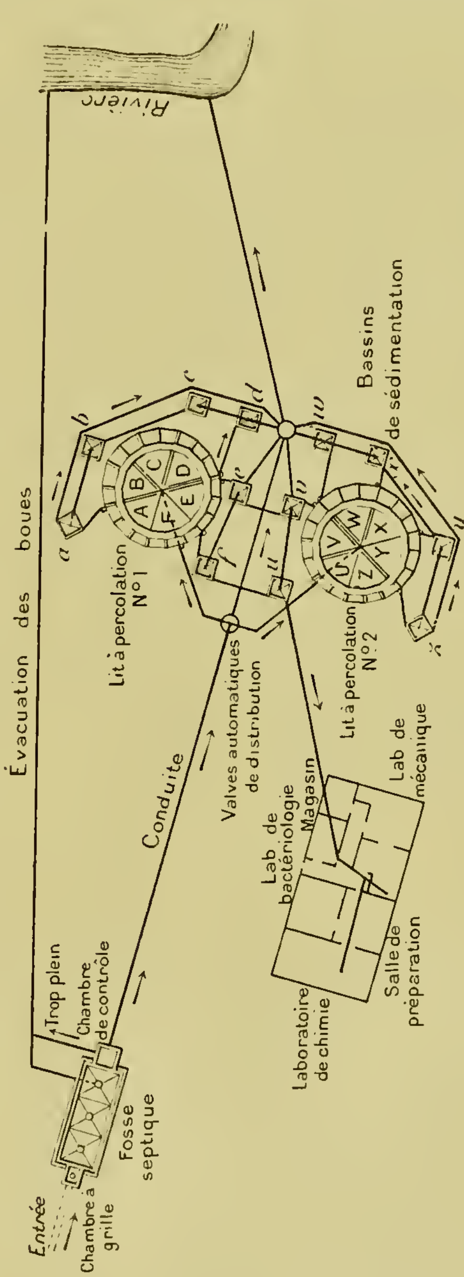


Fig. 47. — Plan de la station expérimentale d'épuration des eaux d'égout de *Baltimore*.

L'effluent du septic tank est distribué sur les lits par un bras tournant, pivotant sur le centre ; l'extrémité du bras est supportée par une roue courant sur un rail circulaire. Ce bras est formé d'un tube percé de 3 orifices situés à $1^{m},60$, $2^{m},80$

et 5m,70 du centre; ces orifices sont munis d'un arrosoir horizontal. Le mouvement de rotation est obtenu par l'action d'un moteur électrique placé dans le premier lit au centre même du lit; dans le second lit il n'existe pas de cheminée centrale et le moteur se trouve sur le pourtour, en dehors de la surface de rotation du bras.

L'effluent de chaque compartiment s'écoule séparément dans un petit bassin mesurant 1mq,56 de surface et 1m,40 à 1m,55 de profondeur, d'où il s'échappe par déversoir : les bassins peuvent ainsi être complètement vidés par le fond. Ces bassins ont surtout pour objet de rechercher quelle est la meilleure forme à adopter pour obtenir le dépôt des matières en suspension dans l'effluent.

Le laboratoire comprend trois parties : l'une pour l'étude physique des matériaux destinés à garnir les lits; la deuxième pour les analyses chimiques; la troisième pour les recherches bactériologiques. Il occupe 178 mètres carrés de surface.

La ville de *Baltimore* a établi un projet d'épuration pour le traitement de 340 000 mètres cubes par jour. Les prix annuels de fonctionnement sont évalués à 557 500 francs sur lesquels 275 000 francs, soit 48 pour 100 sont attribués à la filtration de l'effluent par le sable.

II. — Station expérimentale de Boston.

Cette station a été établie par le *Massachussets Institute of Technology* pour étudier le meilleur mode de traitement de purification des eaux d'égout de *Boston*.

Devant la station passe un collecteur recevant les eaux du système unitaire d'une population de 550 000 habitants. Les eaux nécessaires aux expériences sont prélevées dans l'égout par un tuyau d'aspiration en fer, terminé par un tuyau de caoutchouc qui s'abaisse sur le radier lorsque le débit est faible, et au contraire se relève à mi-hauteur des eaux lorsque le débit est fort, de façon à avoir la composition moyenne du sewage. Le tuyau de caoutchouc est muni d'une crépine spéciale formée d'un tuyau de fer portant des fentes de 12mm,5; l'ouverture est obturée par une plaque portant des échan-

crures radiales correspondant aux fentes du tuyau. Devant la pompe se trouve une chambre à sable où se dépose la plus grande partie des sables et scories.

La station comprend le bâtiment des appareils de traitement des eaux (*Filter House*) et le laboratoire, avec quelques hangars (*fig.* 48 et 49).

La *Filter House* est une construction à un étage. Au rez-de-chaussée se trouvent les filtres et la pompe; à l'étage, des bassins de distribution, des septic tanks et des filtres à sable.

La pompe élève l'eau dans un bassin de distribution A de $2^{mq},16$ de surface et $0^{m},60$ de profondeur ($1^{mq},296$). L'eau entre dans ce bassin par un côté, traverse un barrage et se rend dans deux autres bassins B et C de distribution et aux filtres. Ces bassins servaient au début pour donner un débit constant aux septic tanks placés au-dessous, et au même étage, et aux filtres à percolation du rez-de-chaussée. Ces deux bassins ont une capacité totale de $5^{mc},078$, volume nécessaire pour la distribution continuelle pendant 2 heures à ces tanks et filtres.

Les filtres 1 et 2 sont des filtres à sable. Ils ont $2^{mq},16$ de surface et $0^{m},90$ de profondeur. Au-dessus, du sable fin de $0^{mm},17$ sur $0^{m},60$, puis au-dessous, des galets de 10 centimètres et au fond du fin gravier. L'ouverture d'évacuation n'est jamais fermée.

Les 6 septic tanks disposés par paires (n°s 5 à 10) ont la même capacité que les filtres à sable. Les n°s 7 et 9 sont découverts, les autres sont couverts, aussi hermétiquement que possible, d'un plancher de bois. Le tank 6 est rempli de pierres cassées de $37^{mm},5$ de diamètre. L'effluent de ces tanks se rend dans des canalisations qui permettent de les distribuer sur les filtres du rez-de-chaussée. Celui du tank 10 se rend dans le petit tank D qui sert à immerger le lit de contact, lequel se trouve au-dessous.

Les filtres 11 à 16 ont $0^{mq},56$ de surface et $1^{m},80$ de profondeur, accolés 2 par 2. Les filtres 17 à 20 ont la même surface, mais $1^{m},20$ de profondeur. Les filtres 19 et 20 sont situés plus haut de façon que leur effluent puisse être distribué sur les filtres 17 et 18 respectivement.

Le filtre 15 est à percolation et reçoit l'effluent du tank 5.

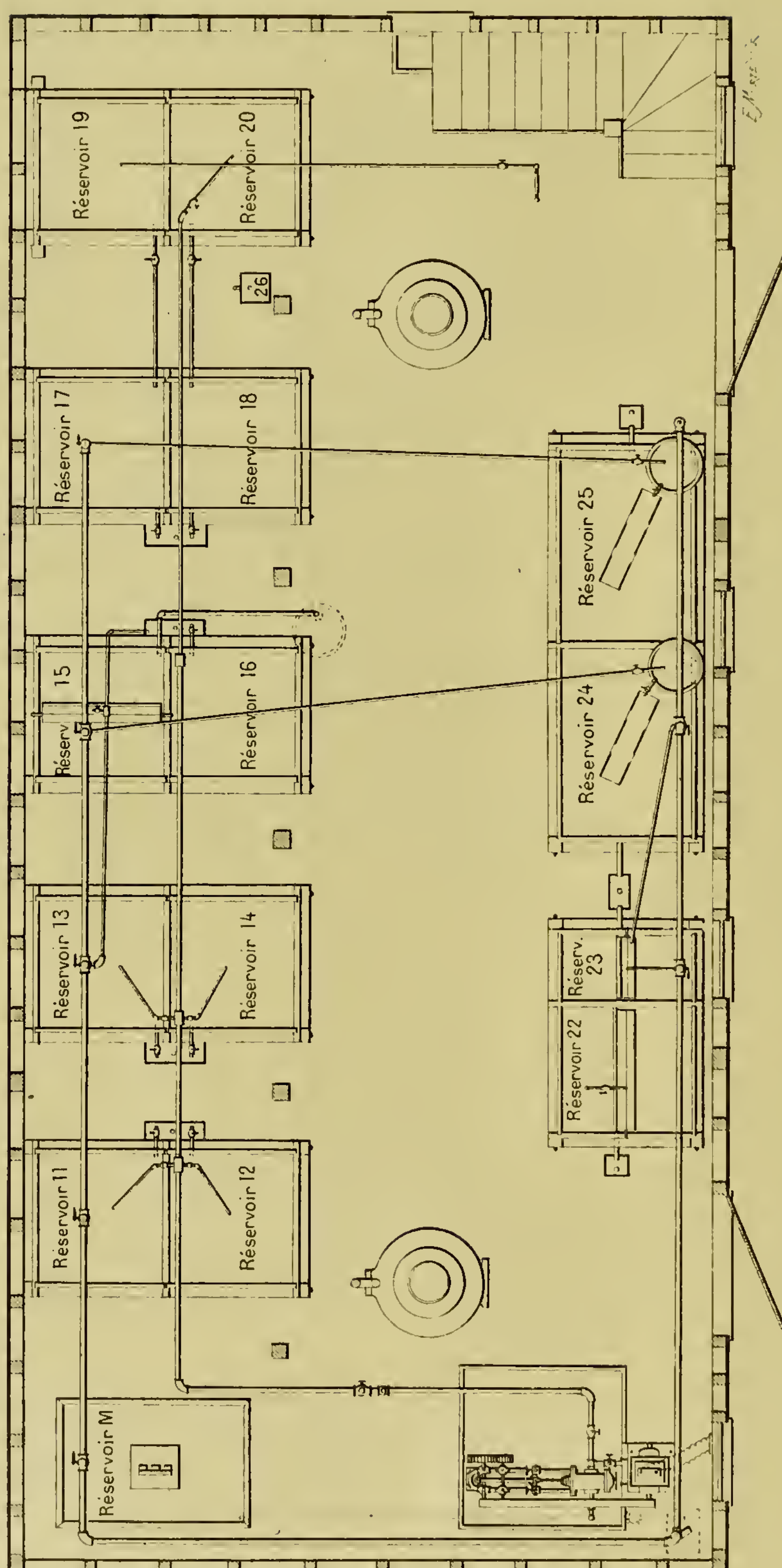


Fig. 18. — Plan du rez-de-chaussée de la station expérimentale de *Boston* (Massachussets).

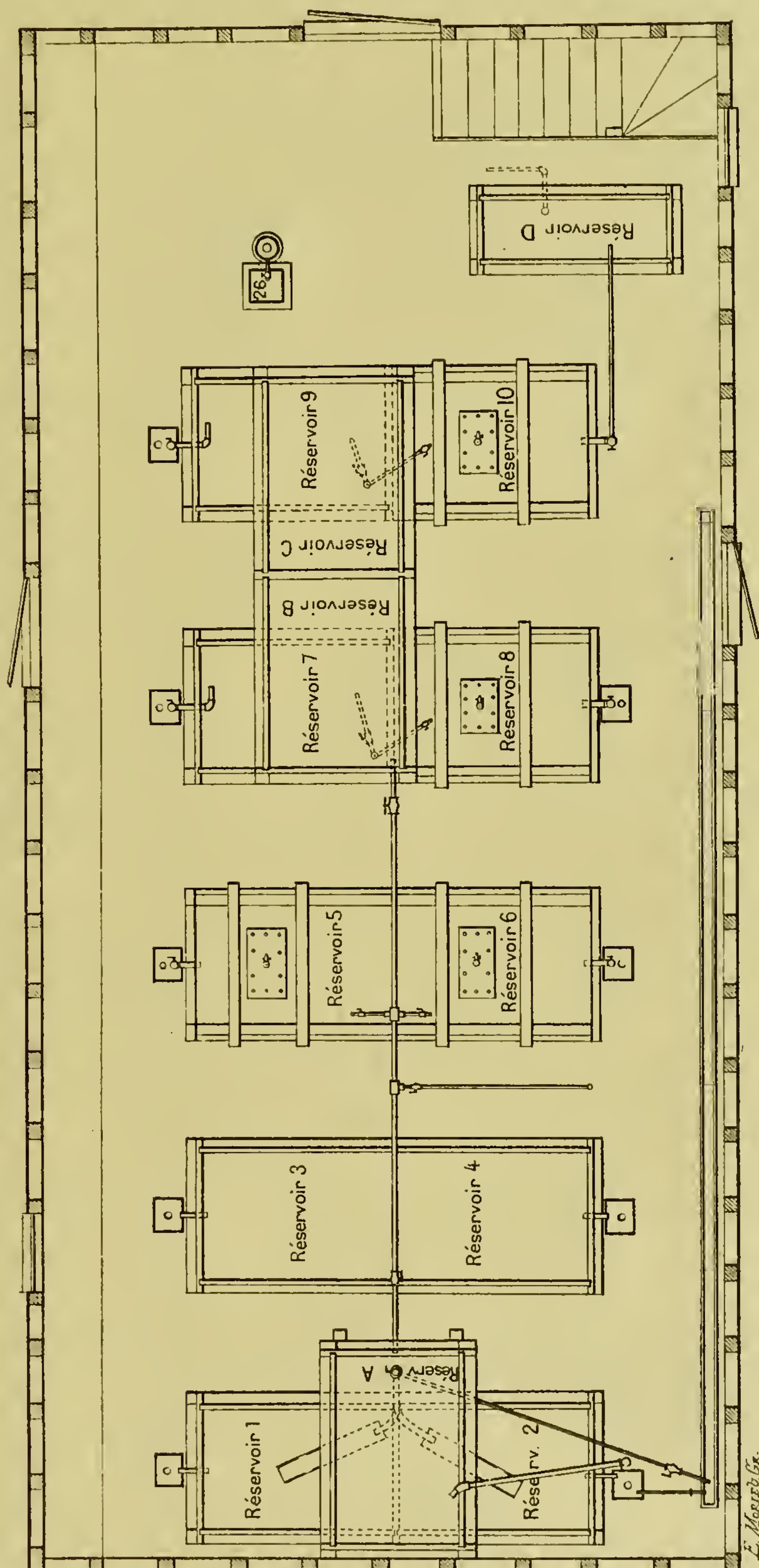


Fig. 19. — Plan de l'étage de la station expérimentale de *Boston* (Massachussets).

Les filtres 11 à 14 et 16 à 20 sont des lits de contact. Le n° 11 est rempli de coke de 50 à 75 millimètres; les n°s 12, 15, 19 et 20 remplis de pierres cassées de 25 à 27^{mm},5 et les n°s 13, 16, 17 et 18 de pierres de 6 à 12 millimètres.

Les numéros 17 et 19 constituent comme 18 et 20 des lits pour le double contact. Le lit 14 est le seul qui ait été changé pendant les expériences. Pendant la première année il était formé de pierres cassées de 12 à 25 millimètres. En juin 1904 il fut rempli de briques de 57^{mm},5 × 100^{mm} × 300^{mm}, placées de façon à laisser 1/5 du volume libre. Les lits 22 mesurant 1^{m},20 × 1^{m},20 × 1^{m},80 et 23 1^{m},20 sur 0^{m},60 × 1^{m},80, remplis de pierres cassées de 25 à 37^{mm},5 sont employés pour la percolation. Les filtres à sable 24 et 25 sont la contre-partie exacte du filtre n° 1. L'effluent des lits 15 et 22 s'écoule dans un tonneau pour le retenir pendant 2 heures, ce qui permet d'étudier l'effet de cette période de sédimentation. Le tank M sert pour mesurer.

On a pu ainsi étudier la quantité d'eau qui pouvait être épurée suivant la grosseur des matériaux des lits, la profondeur des lits, le simple ou double contact, le sewage frais ou à différents stades de putréfaction, l'action des tanks ouverts ou couverts.

Avec les filtres à sable, quatre combinaisons ont été étudiées, chacune différant des autres par une seule variable; avec les lits de contact, six combinaisons; avec les lits à percolation, trois ; et avec les septic tanks, ce qui, avec une première comparaison avec les principaux types, fait un total de 17 combinaisons pour les variables indiquées.

Le sewage était déversé sur les filtres à sable par des rigoles en bois avec ouvertures latérales; sur les lits de contact, un simple tube de 12^{m},5 déversait l'eau horizontalement à la surface. La quantité de sewage traité était mesurée par le nombre de remplissages par jour; la capacité du lit était déterminée chaque semaine. La distribution sur les lits à percolation était obtenue par une rigole à renversement en forme de V, divisée en deux parties longitudinalement. Le nombre de déversements était enregistré par un appareil et donnait la quantité d'eau traitée par jour.

Expériences d'épuration. — Les expériences furent conduites

de 1903 à 1905. Elles montrent que, pour le sewage de Boston :

1° Les transformations dans les septic tanks ouverts sont les mêmes, pratiquement, que dans les septic tanks couverts;

2° On obtient la dissolution de près des 2/5 des matières azotées qui se déposent pendant le séjour en fosse septique, que ce séjour varie de 12 à 24 heures; cependant il y a tendance à accumulation de boues lorsque la période augmente;

3° Les filtres à sable donnent un effluent mieux épuré avec le sewage brut qu'avec l'effluent d'une fosse septique; mais, dans le premier cas, le colmatage est beaucoup plus rapide;

4° La hauteur d'un filtre à sable ne peut pas être inférieure à 0m,60;

5° Pour les lits de contact, le coke donne un effluent légèrement meilleur que la pierre;

6° Avec des fins matériaux, on obtient un bon effluent par un seul contact, mais il est nécessaire de nettoyer souvent les couches superficielles du lit;

7° Pour le traitement de l'eau brute, la hauteur du lit de contact ne doit pas être grande : ainsi le lit de 1m,20 donna un effluent meilleur que celui de 1m,80; la nitrification est plus active dans les lits peu profonds;

8° Avec l'eau brute, la perte de capacité est plus rapide (25 % en deux ans) que lorsqu'on y déverse l'effluent du septic tank (8 % en deux ans);

9° En général, ce traitement par un simple contact donne une diminution de 1/3 ou de la moitié des matières organiques du sewage, avec production d'un effluent encore putrescible, mais qui peut être rejeté sans créer de nuisance.

Le traitement par un deuxième contact enlève encore 1/3 à 1/2 des matières organiques restant et donne un effluent satisfaisant dans le cas de l'eau brute.

Le séjour de 30 heures en fosse septique donne une eau difficile à purifier, même par double contact. Cependant il faut remarquer que seul, un effluent ayant séjourné trop longtemps dans la fosse septique a été expérimenté, et sans aération préalable.

III. — Newton (*New Jersey*).

La ville de *Newton*, malgré une population relativement peu élevée (5 000 habitants), a dû adopter deux systèmes séparatifs d'égouts, à cause de sa situation au sommet d'une colline.

Le sewage est presque exclusivement domestique : il ne comprend que les eaux de trempage des cuirs d'une fabrique de chaussures, les eaux résiduaires peu abondantes d'une fabrique de soieries (ses eaux de teinture sont évacuées dans un marais) et d'une crèmerie.

L'installation d'épuration de la partie de *Clinton street* a été établie pour traiter 1550 mètres cubes par jour. Elle comprend deux septic tanks de 24 mètres × 8^m,40 et 24 mètres × 5^m,20, respectivement, de surface, avec 2^m,25 de profondeur. A côté du plus petit septic tank se trouve un bassin régulateur de 24 mètres × 9 mètres de surface et de 1^m,20 de profondeur. Les septic tanks et le bassin régulateur sont couverts d'une voute de béton.

Le sewage avant d'être admis dans les septic tanks passe dans une chambre à sable qui se trouve à l'intersection des deux tanks, et rencontre une chicane de fond à l'entrée et une de surface à la sortie.

A l'extrémité du bassin régulateur la plus éloignée de l'entrée de l'effluent des septic tanks se trouve un petit compartiment contenant les cinq conduits d'évacuation aux cinq lits filtrants. Le contenu du bassin régulateur est périodiquement admis dans les lits au moyen d'un siphon muni d'un flotteur et d'une valve à air. Chacun des cinq orifices d'évacuation est muni d'un clapet qui n'est ouvert qu'alternativement avec les autres, au moyen d'un mécanisme automatique.

Les cinq lits ont une superficie de 7406 mètres carrés ; quatre sont rectangulaires, un est trapézoïde. Le drainage des filtres est couvert par une couche de 0^m,50 de gravier de 0^m,05, sur lequel se trouve une épaisseur de 0^m,90 de sable du pays. Ces lits reçoivent par jour 179 litres par mètre carré (160 000 gallons par acre). A la surface, les eaux sont distribuées par des conduits rectangulaires variant en largeur de 0^m,60 à 0^m,20 ;

elles doivent s'en échapper par les côtés et non passer au-dessus des bords.

L'installation est complétée par un bassin à boues.

La deuxième canalisation d'égouts (*Spasta Street*) est moins importante, elle ne reçoit que près de 600 mètres cubes par jour qui seront traités sur 5240 mètres carrés avec un seul septic tank et un bassin régulateur.

IV. — Johnson City (*Tennessy*).

Épuration des eaux résiduaires d'une caserne. — Bien que la population ne fût, au moment de l'établissement des plans, que de 1200 hommes, l'installation a été prévue pour traiter les eaux résiduaires d'une agglomération de 5000 habitants. Elle est, par suite, capable de subir les plus grandes variations de volume des eaux, qui sont au maximum de 1562 mètres cubes. L'effluent du filtre à sable s'écoule dans un torrent et, au moment des grandes crues, les boues y sont déversées.

L'installation comprend un septic tank couvert de 25^{m},5 × 8^{m},40, divisé en trois compartiments. Le premier compartiment sert de chambre à sable avec un déversoir de trop plein qui permet d'évacuer les eaux sans épuration. Les deux autres compartiments servent de fosses septiques et peuvent être employés indépendamment l'un de l'autre.

De là, les eaux sont dirigées sur quatre lits de contact qui ont une superficie de 505 mètres carrés. Au centre des quatre lits, un appareil distributeur permet de diriger les eaux d'abord dans un lit, puis dans le suivant. Les lits contiennent une hauteur de 1^{m},80 de scories. La distribution se fait au moyen de tuyaux noyés dans les scories, mais cette disposition a été modifiée par suite du colmatage. Ces tuyaux sont à découvert. La vidange est automatique par le fond, qui est drainé.

L'épuration est terminée par passage de l'effluent sur des filtres à sable. La surface des quatre filtres est de 1161 mètres carrés. Avec un maximum de 1562 mètres cubes par jour, la quantité traitée par mètre carré et par jour sera de 1172 litres. Cette quantité considérable a été jugée permise par ce fait que

les eaux ont déjà été traitées par le septic tank et les lits de contact.

V. — Reading (*Pennsylvanie*).

Le volume du sewage par temps sec est de 9080 mètres cubes, mais peut s'élever par temps de pluies à 12 485 mètres cubes. Bien que provenant du système séparatif, il est suffisamment dilué et composé principalement d'eaux ménagères. Les eaux résiduaires industrielles ne sont admises dans les égouts que si elles ont été traitées convenablement, pour ne pas apporter de changements dans la composition des eaux. La composition par litre est en moyenne :

Oxydabilité en O	0gr,040
Chlore	0gr,100
Matières en suspension totales	0gr,113
— fixes	0gr,035
— volatiles	0gr,078
Nitrates	0gr,0005

Environ 40 pour 100 de la matière organique se trouve en suspension. On y trouve en moyenne 2 200 000 microbes par centimètres cube.

Le sewage se réunit au point le plus bas de la ville et, de là, doit être pompé pour être envoyé à l'installation d'épuration.

Les expériences préliminaires montrèrent que, pour le sewage de *Reading*, il faut : 1° passer le sewage au crible pour le débarrasser des matières fibreuses; 2° retenir autant que possible les matières en suspension par filtration sur coke ou sédimentation dans un septic tank, ce dernier moyen étant le moins coûteux; 3° l'aération du sewage obtenu par un double passage sur lits est très importante, mais pour des raisons économiques, il faut employer des lits à percolation dont la hauteur est de 1m,50 et la grosseur des matériaux de 12mm,5; 4° faire séjourner l'effluent des lits dans des bassins de sédimentation qui le retiennent une ou deux heures pour le débarrasser des matières en suspension.

La partie la plus originale de la méthode d'épuration com-

prend l'emploi du *segregator*, ou crible, inventé par *M. Weand* (*fig.* 50). Il consiste en un cylindre de 1m,80 de diamètre et de 4m,80 de long; qui tourne sur un axe horizontal. Le crible proprement dit est formé d'une toile de cuivre à seize mailles au centimètre carré, qui est fixée sur une seconde toile métallique plus grosse, en fer galvanisé, à mailles de 17mm,5, soudée à intervalles de 15 centimètres dans chaque direction. Le tambour tournant consiste en trois solides cercles de fer, dont un à chaque extrémité et un au centre, maintenus en place par six tubes très résistants de 57mm,5 au travers desquels une tige est vissée. Ces cercles portent des bandes de fer, courant le long du baril, qui divisent la circonférence en huit segments et portent des tiges pour tenir le crible fin en place. Ce dernier est fait en petits segments faciles à démonter et à repairer. Le gros crible, au contraire, est en trois pièces attachées d'une façon permanente sur le tambour tournant. Celui-ci tourne sur les trois cercles forts qui s'appuient sur six roues de fer de 500 millimètres dont deux sont attachées à chacun des trois cercles fixes constituant la charpente du *segregator* et concentrique avec les cercles de la partie tournante. Les roues sur chaque cercle sont placées à courte distance du point le plus bas du crible et une troisième roue de 500 millimètres, au sommet de chaque anneau, sert principalement pour le guidage. Les cercles forts de la charpente fixe sont maintenus en position par trois tubes de 57mm,5 très résistants qui l'assujettissent comme pour la charpente tournante.

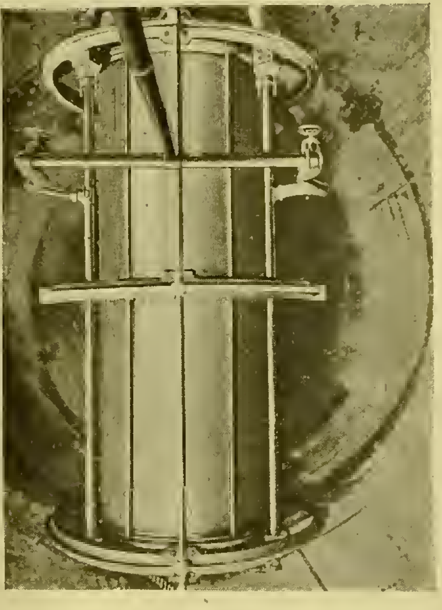


Fig. 50. — Segregateur ou Tambour-filtre tournant de *Weand*, à *Reading*.

Sur les cercles extérieurs de chaque côté du sommet du crible se trouvent des supports pour deux tuyaux de 75 millimètres, de chacun desquels partent quinze jets nettoyeurs pour diriger

l'eau, la vapeur ou l'air sur l'extérieur de la grille. Les jets ont 250 millimètres de diamètre et les deux tuyaux principaux sont mobiles de 50 millimètres latéralement, de telle sorte que la mobilité de chaque jet lui permet de rejoindre ses deux voisins, assurant ainsi un nettoyage parfait de chaque partie du crible. Les tuyaux de tête sont reliés au tuyau fixe par un joint à pression flexible. Les jets de nettoyage ont 75 millimètres de diamètre et peuvent travailler sous une pression supérieure à 14 kilogrammes par centimètre carré, alors qu'il est certain qu'une pression de $1^{kgr},5$ est suffisante pour enlever la boue de l'intérieur de la grille. Des vannes sont prévues pour alimenter les jets, d'eau, de vapeur ou d'air, ensemble ou séparément. L'eau de condensation peut être employée avec avantage, sa température permettant un meilleur nettoyage du crible. Le *segregator* fait trois révolutions par minute, la force motrice étant fournie par un moteur de 2 chevaux 1/2.

L'eau entre dans le crible à une extrémité par un tuyau de 600 millimètres dont le centre est exactement dans l'axe de l'appareil. Près de l'embouchure de ce tuyau est disposée une plaque de 200 millimètres carrés qui, posée transversalement, brise le courant et l'oblige à se répandre sur la circonférence de la grille. Les jets nettoyeurs, opérant sous pression, délaient la boue qui, sans cela, ne tarderait pas à colmater la fine trame, de telle sorte qu'une surface filtrante propre est toujours offerte au sewage. La boue s'avançant graduellement vers l'extrémité opposée du crible est reçue dans un baquet convoyeur et transportée sur le plancher de la station où un élévateur à spirale la prend et la décharge dans des sacs. Ces sacs sont placés dans une machine centrifuge qui fait huit cents tours à la minute et qui achève l'expulsion du liquide. Le résidu solide est vendu comme engrais ou mélangé avec du charbon pour être utilisé comme combustible : ce mélange brûle avec facilité.

Après son passage dans le *segregator*, l'eau est pompée et envoyée à la station d'épuration.

La fosse septique ouverte mesure $15^m,55$ sur 76 mètres de côté, avec $5^m,20$ de profondeur, mais l'eau ne s'élève que jusqu'à $0^m,50$ du faîte des murs. La capacité est environ

7260 mètres cubes, soit une durée de séjour de 12^{h} 3/4 pour 15 630 mètres cubes et 5^{h} 1/2 pour 31 720 mètres cubes.

Les lits sont à 750 mètres de la fosse septique et en contre-bas. Un terrain est réservé pour la construction de huit lits. Un seul est construit : il mesure 4040 mètres carrés de superficie et 1^{m},50 de profondeur. Il est composé de scories de hauts fourneaux de 37^{mm},5 à 100 millimètres. L'effluent du septic tank y est distribué au moyen de becs pulvérisateurs par un appareil mesureur. Cet appareil est construit de telle façon que les becs donnent un jet de plus grande circonférence au début et qui diminue ensuite jusqu'à ce que cette circonférence soit de 0^{m},90, lorsque la pression est de 0^{m},60. L'écoulement cesse pendant 2 à 4 minutes, puis recommence à une pression de 2^{m},10.

L'effluent des lits passe dans un bassin de sédimentation de 30 mètres sur 28^{m},70, et 1^{m},20 de profondeur. La capacité de 1543 mètres cubes est suffisante pour retenir les eaux pendant 2^{h} 1/4 pour le traitement de 15 890 mètres cubes de sewage par jour.

CHAPITRE XXVIII

DOCUMENTS

I

INSTRUCTION DES PROJETS DE CONSTRUCTION D'ÉGOUTS

MINISTÈRE
DE L'INTÉRIEUR

DIRECTION
DE
L'ASSISTANCE
ET DE
L'HYGIÈNE PUBLIQUES

4e Bureau
HYGIÈNE PUBLIQUE

SALUBRITÉ PUBLIQUE

Instruction des projets de construction d'égouts.

(Expédiée aux préfectures le 11 mai.)

Paris, le 19 *avril* 1905.

Le Ministre de l'Intérieur

à Monsieur le Préfet d

L'article 25 de la loi du 15 février 1902 relative à la protection de la santé publique dispose que le Comité consultatif d'hygiène publique de France est nécessairement consulté sur les travaux publics d'assainissement des villes de plus de 5000 habitants. D'autre part, aux termes de l'article 21 de la même loi, les conseils d'hygiène départementaux et les commissions sanitaires doivent être consultés sur les objets énumérés à l'article 9 du décret du 18 décembre 1848, au premier rang desquels figure l'assainissement des localités.

A diverses reprises, le Comité chargé d'examiner soit les projets qui lui étaient soumis en vertu de l'article 25 de la loi de 1902, soit ceux concernant les villes de moins de 5000 habitants qui pour des raisons spéciales lui étaient renvoyés, a été frappé de l'insuffisance des renseignements de toute nature contenus dans les dossiers. Mon attention ayant été appelée sur ce point, j'ai prié le Comité de rédiger un programme des renseignements à fournir, programme qui a été définitivement approuvé et dont vous trouverez le texte reproduit à la suite de la présente circulaire.

Ainsi que vous pourrez vous en rendre compte, ces instructions d'ordre technique présentent les indications les plus utiles pour assurer aux travaux qu'elles envisagent les meilleures garanties de bonne exécution, de durée et, par suite, d'économie. Elles exigent des conditions générales aussi favorables aux intérêts financiers qu'aux intérêts sanitaires des communes. Remplies dès le début, les prescriptions formulées constitueront un guide pour l'établissement des projets et permettront aux assemblées sanitaires de se prononcer sans perte de temps et en pleine connaissance de cause.

Il appartiendra, en conséquence, à MM. les préfets et sous-préfets de veiller à ce que les municipalités se conforment exactement à l'avenir, chaque fois qu'elles auront à établir des projets d'assainissement qui doivent en tout cas être soumis à l'examen préalable des assemblées sanitaires, aux dispositions prévues par le nouveau programme. Je vous en adresse à cet effet un certain nombre d'exemplaires détachés que vous voudrez bien répartir entre le conseil départemental et les commissions sanitaires en même temps que vous en porterez le texte à la connaissance des maires par la voie du *Recueil des actes administratifs* de votre préfecture.

Je vous serai obligé en outre de m'accuser réception du présent envoi.

Pour le ministre :

Le conseiller d'État,
directeur de l'assistance et de l'hygiène publique,

HENRI MONOD.

ANNEXE

TRAVAUX PUBLICS D'ASSAINISSEMENT

Programme d'instruction des projets de construction d'égouts.

Les projets d'assainissement d'une ville doivent constituer un ensemble dont on ne saurait, sans inconvénient, étudier une partie isolée; on ne serait pas assuré que l'exécution de cette partie du projet ne constituerait pas ultérieurement un obstacle à la réalisation des projets correspondant au reste des travaux d'assainissement.

Il est donc nécessaire de soumettre en pareil cas soit aux commissions sanitaires et aux conseils départementaux d'hygiène, soit au Comité consultatif d'hygiène publique de France, un projet d'ensemble tel qu'il doive être suffisant pour un avenir assez éloigné; on indiquera les parties les plus urgentes dont il faudrait assurer l'exécution immédiate, les autres parties devant être exécutées au fur et à mesure que des ressources suffisantes deviendront disponibles.

Tout projet devra faire connaître les éléments suivants :

Topographie générale de l'agglomération;

Population de la ville et des agglomérations desservies par les égouts projetés;

Surface des parties dont les égouts doivent recueillir les eaux: répartition en bassins divers, s'il y a lieu;

Nature des eaux que les égouts doivent évacuer : eaux pluviales, eaux de lavage des rues, eaux ménagères, eaux de lavoirs, eaux industrielles, matières de vidange. Dans le cas où ces dernières ne sont pas recueillies dans les égouts, indiquer quelles dispositions sont prises pour assurer que ce déversement ne peut avoir lieu; dire ce que deviennent ces matières;

Faire connaître la quantité d'eau distribuée dans la ville; y en a-t-il une partie destinée spécialement au lavage des rues et des ruisseaux? aux chasses dans les égouts? et laquelle?

Existe-t-il des lavoirs, des hôpitaux, des établissements industriels devant déverser des eaux impures dans les égouts? indiquer la nature des industries.

Faire connaître la forme, la section et la pente des égouts projetés; indiquer les moyens prévus pour assurer la ventilation continue et le nettoyage des égouts, les chasses d'eau, automatiques

ou non, les dispositions prises pour arrêter ou restreindre l'apport des matières solides.

Indiquer avec précision ce que deviendront les eaux recueillies dans les égouts : subissent-elles une purification? de quelle nature? sont-elles déversées simplement dans un cours d'eau? quel est le débit minimum de celui-ci? quelles sont les agglomérations riveraines existant en aval du débouché de l'égout? et à quelles distances?

Le Comité croit devoir appeler l'attention sur la nécessité de proportionner les sections et les pentes aux quantités maximum d'eau que les égouts doivent recevoir, en tenant compte des pluies torrentielles, à moins que des dispositions spéciales n'aient été prises pour assurer l'évacuation de celles-ci.

Il fait remarquer que la forme ovoïde, fréquemment adoptée, ne présente d'utilité que si la hauteur sous clé est suffisante pour que les ouvriers puissent y circuler sans difficulté ni gêne. Si cette condition ne peut être remplie, il y a avantage, en général, à adopter des conduites de section circulaire de petit diamètre, avec des regards rapprochés et des bouches disposées de manière à empêcher l'introduction des corps solides.

En ce qui concerne le débouché des égouts, le Comité considère comme fâcheux le déversement des eaux dans une rigole à ciel ouvert, qui devient promptement une cause d'infection; les eaux usées doivent couler dans des aqueducs couverts.

Il n'est pas admissible qu'une ville puisse souiller d'une manière quelconque les cours d'eau qui la traversent ou qui coulent dans son voisinage. On ne saurait donc accepter, au point de vue sanitaire, des projets dans lesquels les eaux recueillies par les égouts seraient déversés, sans purification préalable, dans un ruisseau, une rivière, un fleuve, surtout dans le cas où le déversement des matières de vidange dans les égouts serait autorisé. Le projet doit indiquer quel mode de purification sera employé; ce mode variera nécessairement avec la nature des eaux recueillies dans les égouts : décantation, filtrage, épuration par le sol naturel, procédés basés sur des réactions chimiques, emploi de l'épuration biologique, etc. La disposition adoptée devra être telle que les eaux rejetées dans un cours d'eau auront une épuration effective et, notamment, si ces eaux ont reçu des matières de vidange, seront débarrassées des microbes pathogènes qu'elles pouvaient contenir. Dans ce dernier cas, un contrôle permanent devra être établi; les conditions dans lesquelles il fonctionnera devront être soumises à l'approbation, soit des conseils départementaux d'hygiène, soit du Comité consultatif d'hygiène publique de France.

Programme approuvé par le Comité consultatif d'hygiène publique de France dans sa séance du 20 *février* 1905.

II

RÈGLEMENT DE POLICE DES COURS D'EAU NON NAVIGABLES NI FLOTTABLES

MINISTÈRE
DE
L'AGRICULTURE

DIRECTION
DE
L'HYDRAULIQUE
ET
DES AMÉLIORATIONS AGRICOLES

1er BUREAU

Police des eaux.

Envoi d'un modèle de nouveau règlement de police des cours d'eau non navigables ni flottables.

Pollution des nappes souterraines.

CIRCULAIRE
N° 451

Paris, le 1er juin 1906.

LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE

à Monsieur le Préfet d

Par une circulaire du 17 juillet 1900, l'un de mes prédécesseurs vous a invité à rapporter le règlement de police sur les cours d'eau non navigables ni flottables que vous aviez dû prendre conformément aux instructions de M. le Ministre des Travaux publics, en date du 21 juin 1878.

Cette mesure était indispensable puisque le modèle réglementaire n'était plus en parfaite concordance avec la loi du 8 avril 1898 sur le régime des eaux ; mais l'absence de tout règlement de police ne pouvait être que provisoire, étant donnée la nécessité, pour l'Administration, de fixer avec précision les usagers des eaux sur leurs obligations, et un nouveau règlement devait être pris par vos soins, dès que la loi du 8 avril 1898 aurait été complétée par les règlements d'administration publique prévus pour son application.

Les formalités relatives à l'instruction des demandes concernant les ouvrages soumis à autorisation venant d'être déterminées par le décret du 1er août 1905, je vous prie, Monsieur le Préfet, de prendre, dans le plus bref délai possible, un arrêté portant règlement de police sur les cours d'eau non navigables ni flottables de

votre département conforme au modèle annexé à la présente circulaire.

Plusieurs de vos collègues m'ont, à diverses reprises, demandé des instructions sur l'étendue des pouvoirs de l'Administration en matière de police des eaux; je crois donc devoir vous donner, sur la portée des divers articles du règlement, quelques indications sur lesquelles j'appelle toute votre attention, ainsi que celle de MM. les Ingénieurs du service hydraulique.

Article premier

Recépage des arbres.

L'article premier qui prescrit aux riverains le recépage des arbres, buissons et souches formant saillie ne soulève aucune observation particulière. Il convient, cependant, de signaler que l'obligation permanente qu'il leur impose est absolument indépendante de celles qui pourraient leur incomber en ce qui concerne les opérations spéciales de curage et de faucardement qui seraient ordonnées dans les conditions prévues au chapitre 3 du titre II de la loi sur le régime des eaux.

Art. 2 et 3

Produits des curages et passage sur les propriétés riveraines.

Les articles 2 et 3 assujettissent les riverains à recevoir sur leurs terrains les matières provenant des curages et à livrer passage aux agents de l'Administration préposés à la surveillance des cours d'eau, ainsi qu'aux entrepreneurs et ouvriers chargés du curage.

Ces servitudes, qui frappent les propriétés riveraines, dérivent de la situation même des lieux et sont consacrées par la jurisprudence.

Art. 4

Caractères distinctifs des travaux subordonnés à une autorisation préalable.

L'article 4 a pour but d'indiquer de la façon la plus générale quels sont les travaux dont l'exécution est subordonnée à une autorisation préalable.

Toutes les fois qu'un travail quelconque, permanent ou temporaire, est susceptible d'avoir une influence, soit sur le régime, soit sur l'écoulement des eaux, il ne doit être entrepris qu'après avoir été auparavant autorisé par l'Administration.

Pour reconnaître, dans chaque espèce particulière, si une auto-

risation est nécessaire, il conviendra donc uniquement d'examiner si l'une ou l'autre de ces deux conditions est remplie. Cette règle est absolue ; elle est applicable quelles que soient la nature et l'importance de l'ouvrage projeté, quelle que soit sa situation par rapport au lit. Elle conserve toute sa valeur lorsque l'opération ne comporte pas d'ouvrages intéressant par eux-mêmes l'écoulement des eaux, comme par exemple dans le cas de dérivations effectuées au moyen de simples coupures dans la berge. Elle trouverait également son application s'il s'agissait de prises ou déversements communiquant indirectement avec une rivière puisque, dans ces circonstances, le régime des eaux serait encore influencé.

Les caractères distinctifs des travaux soumis à autorisation étant ainsi déterminés par l'article 4, les articles 5, 6, 7 et 8 envisagent les différents cas qui peuvent se présenter et précisent les règles spéciales à chacun d'eux.

Art. 5

Travaux dans le lit des cours d'eau.

L'article 5 vise les travaux dans le lit qui intéressent nécessairement l'écoulement des eaux, et qui, à ce titre, ne peuvent être exécutés qu'après avoir été autorisés, qu'il s'agisse de barrages, d'épis ou même de simples terrassements ou de plantations. Je vous rappelle, Monsieur le Préfet, que c'est vous qui êtes compétent, d'après la loi du 8 avril 1898, pour accorder les autorisations nécessaires, après l'accomplissement des formalités prescrites par le décret du 1er août 1905.

Il conviendra, d'ailleurs, de faire encore application de l'article 5 dans le cas de travaux qui, sans être complètement dans le lit, empièteraient sur les limites naturelles du cours d'eau.

Lorsqu'il ne s'agira que de réparations à des ouvrages précédemment autorisés, pour ne pas multiplier, sans nécessité, les sujétions imposées aux riverains et pour réduire autant que possible le nombre des affaires à instruire par les agents du service hydraulique, il ne m'a pas paru indispensable d'exiger une autorisation. Mais, il doit être bien entendu que si les réparations ne devaient pas laisser les ouvrages identiques à ceux précédemment autorisés, s'il s'agissait non de réparations proprement dites, mais de modifications, une autorisation serait nécessaire. Elle le serait également même dans le cas de simples réparations, si les ouvrages remis en état n'avaient pas été précédemment autorisés, et il conviendrait alors de procéder à la réglementation de l'ensemble des ouvrages non autorisés.

Art 6.

Extractions par les riverains dans le lit.

L'article 6 apporte une nouvelle exception au principe qui subordonne à une autorisation préalable l'exécution d'un travail quelconque dans le lit des cours d'eau. Cette tolérance concerne les extractions de vase, de sable et de pierres par les riverains.

Antérieurement à la loi sur le régime des eaux, le lit des cours d'eau non navigables ni flottables étant « *res nullius* », l'autorisation d'extraire des matériaux a été fréquemment accordée par l'Administration à des non riverains ; aujourd'hui, cette pratique n'est plus possible, puisque la loi a reconnu aux riverains la propriété du lit et leur a attribué comme conséquence le droit exclusif d'extraire la vase, le sable et les pierres, à leur profit. Mais dans l'exercice de leurs droits de toutes natures, les riverains sont soumis au pouvoir réglementaire de l'Administration, et l'article 5 de la loi du 8 avril 1898 prévoit de plus, expressément, que les travaux d'extraction ne doivent pas modifier le régime des eaux. On pouvait se demander si, dans ces conditions, il n'y avait pas lieu d'assimiler ceux-ci purement et simplement aux autres terrassements dans le lit, et de les subordonner, par suite, à une autorisation individuelle préalable.

Il m'a paru que cette obligation serait, dans une certaine mesure, gênante pour les intéressés et qu'elle n'était pas indispensable, étant donné, d'une part, que les extractions ne peuvent en général apporter de troubles sérieux au régime des cours d'eau, d'autre part, qu'il vous est toujours possible de réglementer ou même d'interdire complètement celles qui présenteraient des inconvénients pour l'intérêt général, au point de vue de l'écoulement des eaux comme au point de vue de la salubrité.

Cependant, il y aura le plus souvent intérêt à ne pas laisser aux riverains une liberté absolue en ce qui concerne l'extraction de la vase, du sable et des pierres, et il vous appartiendra, ainsi que le prévoit l'article 6, de fixer les conditions générales auxquelles sera soumis l'exercice de ce droit en vue d'assurer le libre écoulement des eaux, de sauvegarder la salubrité et de préserver les ouvrages publics tels que ponts, digues, travaux de défense ou d'alimentation de canaux, etc., établis par l'État, les départements, les communes ou par les associations syndicales.

Les prescriptions qu'il conviendra d'édicter pourront, d'ailleurs, ne pas être identiques pour tous les cours d'eau du département, étant donnée la diversité des natures de leurs lits. Vous aurez à demander, au sujet des mesures à prendre, des propositions aux Ingénieurs du service hydraulique, et vous voudrez bien soumettre

à mon examen votre arrêté réglementaire avant de le porter à la connaissance du public.

Art. 7.

Ouvrages au-dessus des cours d'eau ou les joignant.

L'article 7 concerne les ouvrages au-dessus des cours d'eau ou les joignant et prescrit, pour leur établissement, des formalités que l'Administration a été amenée par l'expérience à adopter, tant dans l'intérêt général que dans celui des riverains.

En principe, il avait semblé possible de laisser les intéressés exécuter librement, à leurs risques et périls, les ouvrages de cette nature, sauf à ordonner la démolition de ceux d'entre eux qui, préjudiciant à l'écoulement des eaux, sont interdits par l'article 10 de la loi du 8 avril 1898. Mais l'application de cette procédure a fait ressortir de tels inconvénients, que je crois devoir abroger la circulaire du 17 juillet 1900 qui l'avait instituée, en ce qui concerne les ouvrages joignant le lit.

Les riverains se rendent, en effet, difficilement compte de l'influence que peuvent avoir sur le régime des eaux les travaux qu'ils se proposent d'exécuter et, comme ils ont une tendance naturelle à avancer autant que possible leurs constructions vers le lit, le nombre de celles d'entre elles qui gênent l'écoulement augmente tous les jours. Dans ces conditions, l'Administration ne pourrait continuer à user de tolérance sans compromettre l'intérêt général, et elle serait avant peu dans l'obligation de poursuivre la démolition de tous les ouvrages faisant obstacle au libre écoulement des eaux. De semblables mesures de rigueur ne pourraient manquer d'être très préjudiciables aux intéressés, et seraient d'autant plus regrettables que la plupart d'entre eux n'ont établi que par ignorance des ouvrages nuisibles. Ces indications montrent bien que, dans l'intérêt même des riverains, il est préférable de ne pas maintenir un régime de liberté absolue qui, sans leur donner aucun avantage réel, peut entraîner de sérieuses difficultés ultérieures, et que l'exécution de travaux joignant le lit ou au-dessus doit nécessairement être subordonnée à certaines formalités.

L'Administration ne pouvait songer à fixer, d'une manière générale, les conditions d'établissement des ouvrages de cette catégorie, car, sur un même cours d'eau, les variations de régime sont fréquentes et la détermination de ces conditions exigerait par suite un travail aussi long que difficile.

La procédure fixée par l'article 7 qui oblige les riverains à vous soumettre, avant leur exécution, les dispositions qu'ils se proposent d'adopter était donc la seule pratique : les sujétions qu'elle impose aux intéressés sont très faibles par rapport à la sécurité

qu'elle leur donne, et l'on ne peut trouver de meilleures preuves de ses avantages que dans le fait qu'actuellement un grand nombre de riverains communiquent, de leur plein gré, leurs projets à l'Administration avant de les mettre à exécution, dans le but de savoir s'ils ne nuisent pas à l'écoulement des eaux.

Les formalités prescrites par l'article 7 ne soulèvent aucune observation spéciale; il convient cependant de remarquer que le délai de deux mois qui vous est imparti pour faire connaître aux pétitionnaires si l'ouvrage projeté intéresse ou non l'écoulement des eaux ne s'applique évidemment pas à l'arrêté que vous aurez à prendre, si l'ouvrage doit faire l'objet d'une autorisation, arrêté qui sera rendu après enquête dans les conditions prévues par le décret du 1er août 1905.

Art. 8

Prises et déversements d'eau.

L'article 8 est relatif aux prises et déversements d'eau.

Les riverains dans l'exercice des droits sur les eaux qui leur sont conférés par le Code civil sont soumis au pouvoir réglementaire de l'Administration, et l'article 2 de la loi du 8 avril 1898 rappelle expressément que, dans l'usage de l'eau courante qui borde ou traverse leurs propriétés, ils sont tenus de se conformer aux dispositions des règlements et aux autorisations émanées de l'Administration.

Les prises et les déversements d'eau ont nécessairement, quel que soit le volume dérivé ou écoulé, une influence sur le régime du cours d'eau où ils sont effectués, et devraient, par suite, conformément au principe posé à l'article 4, n'être opérés qu'après avoir été autorisées. Cependant l'application stricte de cette règle entraînerait un travail considérable pour les agents du service hydraulique, imposerait dans certains cas aux riverains des sujétions sans utilité, et il m'a paru qu'il convenait de ne pas exiger d'autorisation toutes les fois que le débit du cours d'eau ne serait pas modifié d'une manière appréciable.

Dans ce cas, en effet, une réglementation n'est pas utile pour les déversements qui ne peuvent présenter aucun inconvénient, et elle n'a également aucune raison d'être pour les prises, puisque, étant donnée leur faible importance, elles ne peuvent priver les usagers d'aval de l'eau qui leur est indispensable.

Dans le cas contraire, une autorisation préalable devra être demandée pour toutes les prises ou déversements envisagés au seul point de vue du volume dérivé ou écoulé et indépendamment des ouvrages destinés à les effectuer, soumis par eux-mêmes à la réglementation s'ils intéressent l'écoulement des eaux. Cette auto-

risation sera d'ailleurs nécessaire, que ces prises ou ces déversements soient faits directement ou indirectement dans le cours d'eau, et même s'ils ne devaient être que temporaires.

Il conviendra, en particulier, de n'apporter aucune tolérance à cet égard toutes les fois qu'il s'agira de dérivations pouvant nuire à la salubrité, à l'alimentation des hommes ou des animaux, aux besoins domestiques, à l'utilisation générale des eaux; dans ces cas, l'intervention de l'Administration devra nécessairement s'exercer pour sauvegarder ces intérêts dont elle doit tout particulièrement se préoccuper, ainsi que je vous l'indique avec plus de détails à propos de l'article 11.

L'autorisation devra être précédée des formalités prévues par le décret du 1er août 1905, et la circulaire dont je vous ai annoncé l'envoi, qui précisera les conditions d'application de ce décret, vous donnera des instructions complètes, en ce qui concerne les dispositions à insérer dans les règlements individuels.

J'appelle enfin tout spécialement votre attention, d'une part, sur ce que les non riverains, sauf ceux auxquels des titres auraient par exception conféré des droits sur les eaux, ne peuvent pratiquer de dérivations sur les rivières non navigables ni flottables qu'en vertu d'une déclaration d'utilité publique; d'autre part, sur ce que les déversements susceptibles d'être autorisés par application de l'article 8 ne peuvent évidemment être que des déversements d'eaux propres, ne rentrant pas dans la catégorie de ceux qui sont interdits par l'article 12.

Art. 9.

Obligations des usiniers relatives à l'écoulement des eaux.

L'article 9 est relatif aux obligations des usiniers et des usagers des barrages, en ce qui concerne l'écoulement des eaux.

Les trois premiers paragraphes s'appliquent à toutes les usines, qu'elles soient réglementées ou non. Le premier interdit de placer aucune hausse sur les déversoirs et les vannes des usines de façon que les usiniers ne puissent surélever, à l'insu de l'Administration, le niveau de leurs retenues et nuire ainsi à l'utilisation agricole ou industrielle des eaux, soit en augmentant l'humidité des terres, soit en allongeant la durée des intermittences sur les rivières où les usines marchent par éclusées.

Le deuxième indique que les usiniers sont responsables de la surélévation des eaux, tant que les vannes de décharge ne sont pas levées à toute hauteur.

Le troisième concerne les lâchures et l'entretien des ouvrages sujets à la réglementation.

La clause relative aux lâchures s'applique plus spécialement aux usines comportant des retenues qui emmagasinent un volume con-

sidérable ; dans ce cas, il importe de ne jamais faire la vidange de ces retenues qu'en prenant toutes les précautions nécessaires pour éviter une inondation à l'aval.

L'obligation d'entretenir les ouvrages vise tout particulièrement les barrages réservoirs. Il ne suffit pas, en effet, que les arrêtés réglementaires des usines déterminent les profils en travers de ces barrages en tenant compte de leur mode de construction de façon que leur stabilité soit assurée, il faut encore que leur entretien soit constant, pour qu'une rupture, qui entraînerait la ruine de la vallée à l'aval, ne puisse se produire.

Les deux derniers paragraphes concernent les usines non pourvues de titres réglementaires.

Le quatrième paragraphe stipule qu'à défaut de titre règlementaire, les eaux ne devront pas dépasser le dessus du déversoir ou de la vanne de décharge la moins élevée s'il n'existe pas de déversoir. Cette prescription a pour but de prévenir les inondations, en obligeant les usagers des retenues non réglementées à établir leurs ouvrages de façon que les eaux puissent s'écouler comme si l'usine n'existait pas. Les barrages non autorisés ne peuvent être tolérés, lorsqu'ils ne remplissent pas les conditions précédentes, que s'ils sont construits de façon à être emportés par la première crue.

Le cinquième paragraphe de l'article 9 indique que les usiniers et usagers des usines non réglementées sont responsables de la surélévation des eaux, soit qu'elle provienne du défaut de manœuvre de leurs vannes, soit qu'elle résulte de la trop grande hauteur du déversoir ou de l'insuffisance des ouvrages de décharge.

S'il s'agit d'usines réglementées, établies conformément à leur acte d'autorisation, la responsabilité pénale n'existe que lorsque la manœuvre des vannes n'a pas été faite en temps utile, et l'usinier ne pourrait être, en cas de dommages résultant de dispositions défectueuses des ouvrages fixés par l'Administration, que rendu civilement responsable vis-à-vis des tiers dont les droits demeurent toujours réservés.

Art. 10

Obligations des usiniers et usagers des barrages pendant les opérations de curage.

L'article 10 prescrit aux usiniers et usagers des barrages l'obligation de tenir leurs vannes ouvertes pour l'exécution et la réception des travaux de curage aux jours et heures fixés par les arrêtés préfectoraux. Les chômages qui leur sont ainsi imposés sont largement justifiés, d'une part, parce que les curages leur profitent directement en rétablissant le cours régulier des eaux, d'autre part, parce que l'encombrement du lit par les dépôts est en grande partie la conséquence du remous créé par les ouvrages de retenue.

Art. 11

Transmission des eaux.

D'une manière générale, les dispositions des articles précédents, sauf celui qui concerne les prises, ont pour objet de prévenir les inondations ; mais l'Administration n'a pas à se préoccuper seulement d'assurer aux eaux leur libre écoulement, elle doit aussi sauvegarder les autres intérêts généraux qui lui sont confiés, notamment la salubrité et l'alimentation des populations; elle doit encore intervenir pour que les eaux reçoivent la meilleure utilisation possible, pour les diriger, comme le prévoit la loi des 12-20 août 1790, vers un but d'utilité générale.

L'article 11 impose, à cet effet, aux usiniers et aux usagers des prises, indépendamment des obligations qui peuvent résulter pour eux des règlements généraux de répartition des eaux entre l'agriculture et l'industrie et de leurs règlements d'eau particuliers, l'observation de diverses prescriptions relativement à la transmission des eaux.

Le premier paragraphe de l'article 11 est destiné à protéger la salubrité publique, à assurer aux populations d'aval l'eau nécessaire à leur alimentation ainsi qu'à l'abreuvement de leurs bestiaux et à la satisfaction de leurs besoins domestiques. La doctrine et la jurisprudence sont d'accord pour reconnaître la légitimité de l'intervention de l'Administration en faveur de ces intérêts généraux dont la protection s'impose d'autant plus que les besoins de cettte nature ne sont pas garantis d'une manière expresse par le Code civil.

Il doit être bien entendu, d'ailleurs, Monsieur le Préfet, que l'obligation générale ainsi édictée ne doit pas vous empêcher de prendre, dans les règlements d'eau individuels, en vue de sauvegarder ces mêmes intérêts, des mesures spéciales et précises, qui sont en particulier presque toujours indispensables dans les cas de prises importantes ou d'usines établies sur des cours d'eau à faible débit où la marche par éclusées est normale.

Les prescriptions du premier paragraphe de l'article 11 ne suffisent pas à sauvegarder les intérêts généraux de toute nature dont l'Administration a la garde, lorsqu'il s'agit d'usines dont les retenues s'étendent sur de très grandes longueurs ou qui emmagasinent un volume d'eau considérable, soit au moyen de barrages réservoirs construits sur les cours d'eau, soit par des réservoirs exécutés en dehors du lit, mais alimentés par une dérivation.

Les usines de cette importance apportent des perturbations profondes au régime des rivières sur lesquelles elles sont établies, puisqu'elles peuvent interrompre le cours naturel des eaux sur plusieurs kilomètres et exercer leur action jusqu'à une distance encore plus considérable à l'aval de leur canal de fuite en retenant

les eaux, ou en ne les transmettant que d'une manière intermittente.

Dans ce cas, l'Administration ne peut, par suite, borner son rôle à prescrire l'écoulement du débit nécessaire à la salubrité et à l'alimentation publiques; elle doit encore prendre les mesures indispensables pour que les riverains et les usagers d'aval ne soient pas mis dans l'impossibilité d'exercer leurs droits de toutes natures sur les eaux et notamment leurs droits à l'arrosage. Le service hydraulique ne saurait, d'ailleurs, dans la circonstance, encourir le reproche d'empiéter sur le domaine judiciaire en départageant des intérêts privés : les intérêts agricoles et industriels de toute la partie du cours d'eau dont le régime naturel est complètement modifié sont assez nombreux et assez importants pour que leur protection ait nettement le caractère « d'utilité générale » qui, d'après les termes mêmes de la loi des 12-20 août 1790, justifie l'intervention de l'Administration.

Les dispositions du deuxième paragraphe de l'article 11 ont pour objet d'obliger les usagers des usines ou des prises d'eau établies dans les conditions qui viennent d'être indiquées à transmettre les eaux de façon à ne pas nuire à leur utilisation. Mais ces prescriptions d'ordre général, et en quelque sorte de principe, devront nécessairement être complétées par les obligations spéciales qu'il conviendra d'imposer en vue du même objet dans l'acte d'autorisation particulier à chaque espèce.

La circulaire qui commentera le décret du 1er août 1905 vous donnera, Monsieur le Préfet, des instructions en ce qui concerne les clauses de cette nature à insérer dans les règlements d'eau. Je vous invite, dès maintenant, à veiller avec soin à ce que des usines ou des prises d'eau de cette importance ne soient jamais, à raison de leur influence sur le régime des eaux, entreprises sans autorisation préalable.

Art. 12

Déversements interdits.

L'article 12 a pour but d'interdire diverses opérations qui pourraient avoir, soit directement, soit indirectement, une influence nuisible sur les cours d'eau.

Le premier paragraphe vise les dépôts et, d'une manière générale, les déversements quels qu'ils soient, qui pourraient gêner l'écoulement des eaux.

Le deuxième paragraphe est destiné à protéger la salubrité publique.

Le troisième paragraphe a pour but d'empêcher que la qualité des eaux ne soit altérée et que leur nature ou leur température ne soit modifiée de façon à rendre leur utilisation impossible.

Je ne saurais trop insister, Monsieur le Préfet, sur l'importance

que j'attache aux prescriptions des deux derniers paragraphes de l'article 12.

J'ai constaté, à diverses reprises, dans l'examen des affaires qui m'étaient soumises, qu'un assez grand nombre d'Ingénieurs du service hydraulique supposent que le rôle de l'Administration doit se borner à prescrire des mesures en vue d'assurer le libre écoulement des eaux. Cette opinion constitue une grave erreur, puisqu'elle néglige une partie très importante des attributions de police conférées de tous temps à l'autorité administrative et rappelées expressément par l'article 8 de la loi du 8 avril 1898, celle qui est relative à la conservation des cours d'eau.

L'importance de la mission qui incombe à cet égard au service hydraulique est, d'ailleurs, capitale : s'il est nécessaire de prévenir les inondations, il n'est pas moins indispensable, dans l'intérêt général, d'interdire que les eaux soient polluées de façon à nuire à la salubrité publique, de veiller à ce qu'elles ne perdent pas leurs qualités naturelles et d'empêcher qu'elles ne soient rendues impropres à l'un quelconque des nombreux usages auxquels elles sont destinées.

C'est aux Ingénieurs du service hydraulique seuls qu'il appartient de vous proposer les mesures qu'il conviendra de prendre afin de protéger l'alimentation des hommes et des animaux, et afin de permettre l'emploi de l'eau aux usages domestiques ou son utilisation pour l'agriculture et l'industrie.

En particulier, toutes les fois qu'il sera utile de compléter les dispositions édictées par le règlement de police, notamment de prévoir quels sont les résidus industriels dont l'écoulement est interdit ou ne peut être effectué que dans des conditions déterminées, les Ingénieurs du service hydraulique devront vous adresser toutes les propositions utiles pour sauvegarder les divers intérêts dont ils ont la charge.

Lorsqu'il ne s'agira que d'assurer uniquement la conservation du poisson, vous aurez à consulter les agents de l'Administration des forêts dont dépend le service de la pêche, mais, en vertu du principe rappelé par la circulaire du 10 décembre 1905, il conviendra que les mesures qui vous seront soumises à cet effet fassent l'objet de conférences avec le service hydraulique, si elles sont de nature à avoir une influence sur l'utilisation industrielle ou agricole des eaux.

En cas de désaccord entre les conférents, vous devrez me saisir sous le timbre de la Direction de l'hydraulique et des améliorations agricoles.

Je vous signale enfin que les égouts qui ont manifestement pour objet des déversements rentrant dans la catégorie de ceux qui sont interdits ne peuvent, en principe, être exécutés qu'en vertu d'une déclaration d'utilité publique et dans les conditions reconnues

nécessaires par le service hydraulique pour sauvegarder les divers intérêts qui lui sont confiés et dont je vous ai rappelé l'importance. Cependant, lorsque ces déversements ne seront pas, par leur composition et leur volume, de nature à influer à une époque quelconque de l'année, d'une manière sensible, sur la qualité des eaux des cours d'eau où ils sont effectués, ils pourront être assimilés aux écoulements d'eau propre et réglementés dans les mêmes conditions. Mais lorsqu'une ville fera application du système du tout-à-l'égout, l'évacuation dans la rivière devra être déclarée d'utilité publique. Je vous donnerai, d'ailleurs, au sujet des conditions dans lesquelles les égouts peuvent être établis, des indications plus détaillées, en vous adressant, comme le prévoit la circulaire du 22 novembre 1905, des instructions complètes sur l'application du décret du 1er août 1905.

Dispositions particulières et locales.

A la suite de l'article 12, un blanc est réservé dans le modèle du règlement de police pour l'insertion des dispositions particulières et locales qu'il pourrait convenir d'édicter.

S'il existe dans votre département des parties de rivières non navigables ni flottables dans les vallées desquelles la loi du 22 mai 1858 ait interdit la construction de digues sans autorisation de l'Administration, je vous prie de faire figurer dans cette partie du règlement de police l'article suivant :

« Conformément à la loi du 28 mai 1858, il ne pourra être établi aucune digue dans les parties submersibles des vallées des rivières de... (indiquer le nom de ces rivières) sans que les dispositions projetées aient été, au préalable, soumises à l'Administration qui aura le droit d'y apporter toutes les modifications qu'elle jugera utiles ou même d'interdire leur exécution. Toute infraction aux prescriptions précédentes constitue une contravention de grande voierie dont la connaissance appartient au Conseil de Préfecture. »

Garde-rivières.

L'article qui suit les dispositions particulières et locales est relatif aux garde-rivières. Ces agents pourront être institués si l'ensemble des intéressés ou seulement un certain nombre d'entre eux ont pris l'engagement solidaire d'assurer le payement de leur traitement : le département et les communes pourront, d'ailleurs, s'il le jugent convenable, accorder des subventions pour aider les intéressés à faire face à cette dépense.

Si vous estimez, Monsieur le Préfet, qu'il serait utile dans l'intérêt général d'habiliter certains agents du service hydraulique à dresser des procès-verbaux, je vous prierai de me faire connaître le nombre des conducteurs, commis ou cantonniers, que vous croiriez devoir être commissionnés.

Répressions des contraventions.

L'avant-dernier article du règlement de police concerne la répression des contraventions.

Les diverses prescriptions relatives à la constatation des contraventions et à l'affirmation des procès-verbaux ne soulèvent aucune observation spéciale.

En ce qui concerne la juridiction devant être saisie, je crois devoir vous donner quelques indications. Le tribunal compétent est, d'une manière générale, le tribunal de simple police; cependant, l'infraction commise peut, dans certains cas, être poursuivie devant le tribunal correctionnel, notamment si elle rentre dans l'un des cas prévus par les articles 457 du Code pénal et 15 de la loi des 28 septembre-6 octobre 1791; si, par exemple, un usinier causait des dommages par suite de la hauteur excessive de son déversoir, par suite du défaut ou de l'insuffisance de levée de ses vannes de décharge, s'il transmettait les eaux d'une manière nuisible ou altérait, soit directement, soit indirectement leur qualité.

Indépendamment de l'action répressive devant les tribunaux de police pour infraction au règlement sur la police des eaux, des poursuites devant le Conseil de Préfecture pourraient être exercées, si les faits délictueux constituaient des contraventions de grande voierie; en particulier si une inondation causait des dommages à des routes nationales, à des canaux de navigation, à des chemins de fer, à des travaux d'endiguement; s'il y avait lieu, enfin, d'appliquer la loi du 28 mai 1858 relative aux digues établies dans les parties submersibles de certaines rivières.

L'Administration n'a, d'ailleurs, pas à s'occuper seulement de la répression pénale de la contravention ou du délit commis; les mesures à prendre en vue de faire cesser les faits qui sont nuisibles à l'intérêt général présentent une utilité au moins aussi grande : les instructions détaillées qui suivent vous éclaireront sur la procédure à suivre à cet égard.

Vous avez toujours le droit, Monsieur le Préfet, en vertu des pouvoirs de police conférés à l'Administration, notamment par les lois des 12-20 août 1890 et du 8 avril 1898, de mettre en demeure les intéressés d'effectuer les travaux nécessaires et de les faire exécuter d'office s'il n'a pas été tenu compte de vos prescriptions.

Mais il est préférable, s'il n'y a pas urgence, d'avoir recours aux tribunaux auxquels est déféré le procès-verbal de contravention et de leur demander, indépendamment de l'amende prévue, d'ordonner la démolition des ouvrages nuisibles, *par les soins de l'Administration et aux frais des contrevenants.*

En ce qui concerne le recouvrement des dépenses faites, la loi relative aux contributions directes assimilées de chaque exercice contient un article qui autorise la mise en recouvrement, au profit

de l'État, des taxes décernées pour dépenses faites d'office au compte des riverains et usagers des cours d'eau dans l'intérêt de la police et de la répartition des eaux. Vous pourrez donc, Monsieur le Préfet, décerner contre les contrevenants une taxe qui sera recouvrée comme en matière de contributions directes.

J'appelle enfin votre attention sur les observations suivantes :

Les particuliers commettent souvent des contraventions de bonne foi, soit par ignorance, soit par fausse interprétation des règlements; dans ce cas il conviendra, en général, de ne faire dresser procès-verbal de contravention qu'après avoir enjoint aux intéressés de supprimer ou de modifier les ouvrages nuisibles et les avoir avertis, que, faute de satisfaire à ces prescriptions dans un délai de..., ils seront poursuivis devant les tribunaux compétents.

D'autre part, les poursuites ne doivent jamais être exercées pour départager des intérêts particuliers en conflit, mais uniquement dans l'intérêt général ou en faveur d'un ensemble d'intérêts assez importants pour justifier l'intervention de l'Administration.

Publication et exécution.

Le dernier article prescrit la publication et l'affichage du règlement de police dans l'étendue du département, son insertion au *Bulletin des actes administratifs* de la préfecture et charge l'Ingénieur en chef, les sous-préfets et les maires d'en surveiller et d'en assurer l'exécution.

Un exemplaire du *Bulletin des actes administratifs* contenant le règlement de police et trois exemplaires de l'affiche devront être adressés à mon administration.

Je ne mets pas en doute, Monsieur le Préfet, que la vulgarisation des dispositions qui précèdent ne rende de très utiles services aux usagers des cours d'eau non navigables ni flottables, en les fixant nettement sur les obligations qui leur incombent. J'attache beaucoup d'intérêt à ce que la plus grande publicité soit donnée à l'arrêté que vous devez prendre conformément au modèle qui vous est adressé, et à ce que les fonctionnaires chargés de ce soin veillent strictement à son exécution.

J'adresse amplification de la présente circulaire à MM. les Ingénieurs du service hydraulique et j'appelle à nouveau toute leur attention ainsi que la vôtre, Monsieur le Préfet, sur l'importance des diverses recommandations qui vous sont faites, afin que l'Administration remplisse dans toute son étendue et d'une manière efficace la mission complexe qui lui incombe, d'assurer la police et la conservation des cours d'eau non navigables ni flottables et de diriger les eaux du territoire vers un but d'utilité générale.

J. RUAU.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE ET DES AMÉLIORATIONS AGRICOLES

DÉPARTEMENT D

COURS D'EAU NON NAVIGABLES NI FLOTTABLES

MODÈLE D'ARRÊTÉ PRÉFECTORAL

Nous, Préfet du département d

Vu la loi du 22 décembre 1789-janvier 1790;

Vu la loi des 12-20 août 1790 qui confie notamment à l'Administration le soin de diriger toutes les eaux du territoire vers un but d'utilité générale;

Vu les lois des 28 septembre-6 octobre 1791 et 20 messidor an III (article 4) ainsi que l'arrêté du Gouvernement du 19 ventôse an VI;

Vu les articles 644, 645, 714 du Code civil et les articles 457, 471, 474 du Code pénal;

Vu les décrets des 8 mai 1861, 14 novembre 1881, 5 septembre 1897;

Vu la loi du 5 avril 1884 (article 99);

Vu la loi du 8 avril 1898 (titre II), notamment l'article 8 qui charge l'autorité administrative de la conservation et de la police des cours d'eau non navigables ni flottables;

Vu les règlements d'administration publique des 14 novembre 1899 et 1er août 1905;

Vu la circulaire de M. le Ministre de l'Agriculture en date du 1er juin 1906;

Avons arrêté et arrêtons ce qui suit :

ARTICLE PREMIER.

Recépage des arbres.

Les riverains sont tenus de recéper et d'enlever tous les arbres, buissons et souches qui forment saillie, tant sur le fond des cours d'eau que sur les berges, et toutes les branches qui, baignant dans les eaux, nuiraient à leur libre écoulement.

Art. 2.

Produits des curages.

Les riverains sont assujettis à recevoir sur leurs terrains les matières provenant des curages faits au droit de leurs propriétés et à enlever les dépôts qui pourraient nuire à l'écoulement des eaux.

Art. 3.

Passage sur les propriétés riveraines.

Les riverains sont tenus de livrer passage sur leurs terrains, depuis le lever jusqu'au coucher du soleil, aux fonctionnaires et agents dans l'exercice de leurs fonctions ainsi qu'aux entrepreneurs et ouvriers chargés du curage.

Ces personnes ne pourront toutefois user du passage sur les terrains clos qu'après en avoir préalablement prévenu les riverains.

En cas de refus, elles requerront l'assistance du maire de la commune. Elles seront d'ailleurs responsables de tous les dommages et délits commis par elles et par leurs ouvriers.

Le droit de passage devra s'exercer, autant que possible, en suivant la rive des cours d'eau.

Art. 4.

Caractères distinctifs des travaux subordonnés à une autorisation préalable.

Aucun travail, quel qu'il soit, permanent ou temporaire, susceptible d'avoir une influence sur le régime ou l'écoulement des eaux d'un cours d'eau, ne peut être entrepris avant d'avoir été autorisé par l'Administration.

Art. 5.

Travaux dans le lit des cours d'eau.

Dans le lit d'un cours d'eau, aucun ouvrage permanent ou temporaire, aucun barrage, aucune plantation, aucun travail, quel qu'il soit, ne pourra être exécuté ou modifié sans l'autorisation du Préfet.

Art. 6.

Extractions dans le lit par les riverains.

Le droit du riverain de prendre dans la partie du lit qui lui appartient tous les produits naturels et d'en extraire de la vase, du

sable et des pierres ne pourra être exercé que dans les conditions générales qui auront été fixées par le Préfet.

Art. 7.

Ouvrages au-dessus des cours d'eau ou les joignant.

Quiconque veut établir un ouvrage au-dessus d'un cours d'eau ou le joignant doit soumettre au Préfet les dispositions qu'il se propose d'adopter.

Dans un délai de deux mois, le Préfet doit faire connaître au pétitionnaire si l'ouvrage projeté intéresse ou non le régime ou l'écoulement des eaux.

Dans le cas de l'affirmative, l'ouvrage ne pourra être exécuté que dans les conditions fixées par le Préfet.

Dans le cas de la négative, ou si, dans le délai de deux mois, il n'a pas reçu de réponse, le pétitionnaire pourra exécuter l'ouvrage sans autre formalité.

Art. 8.

Prises d'eau et déversements d'eau.

Toute prise d'eau, quel qu'en soit le mode, tout déversement susceptible de modifier d'une manière appréciable le débit d'un cours d'eau ne peut être effectué, soit directement, soit indirectement, à titre permanent ou temporaire, qu'après avoir été autorisé par l'Administration.

Art. 9.

Obligations des usiniers relatives à l'écoulement des eaux.

Les déversoirs et vannes de décharge seront toujours entretenus libres et il est expressément défendu d'y placer aucune hausse.

Les usiniers et usagers de barrages seront responsables de la surélévation des eaux tant que les vannes de décharge ne seront pas levées à toute hauteur.

Les usiniers et usagers de barrages ne devront faire aucune lâchure susceptible de causer des inondations et seront tenus d'assurer l'entretien constant de leurs ouvrages sujets à réglementation, de façon à prévenir tout accident.

A défaut de titre réglementaire qui fixe la hauteur légale de la retenue, les eaux ne devront pas dépasser le dessus du déversoir ou de la vanne de décharge la moins élevée, s'il n'existe pas de déversoir.

Les usiniers et usagers des barrages non réglementés seront responsables de la surélévation des eaux, soit qu'elle résulte du dé-

faut de manœuvre des vannes de décharge en temps utile, soit qu'elle provienne de la trop grande hauteur du déversoir ou de l'insuffisance des ouvrages de décharge.

ART. 10.

Obligations des usiniers pendant les opérations de curage.

Les usiniers et usagers des barrages devront tenir leurs vannes ouvertes tant pour l'exécution que pour la réception des travaux de curage pendant les jours et heures qui seront fixés par les arrêtés préfectoraux.

ART. 11.

Transmission des eaux.

Les usiniers et usagers des prises d'eau devront assurer la transmission des eaux de manière à ne jamais compromettre ni la salubrité publique, ni l'alimentation des hommes et des animaux, ni la satisfaction des besoins domestiques.

Les usiniers et usagers des prises d'eau ne devront, en aucun cas, nuire à l'utilisation générale des eaux en apportant sur une grande longueur au régime des cours d'eau des modifications susceptibles d'empêcher l'exercice des droits de toutes natures sur les eaux, notamment des droits à l'arrosage.

ART. 12.

Déversements interdits.

Il est interdit de jeter, de déverser ou de laisser écouler, soit directement, soit indirectement, dans le lit des cours d'eau, des matières, des résidus, des liquides :

1° S'ils sont susceptibles d'occasionner des envasements ou de gêner l'écoulement des eaux ;

2° S'ils sont infects, nuisibles ou susceptibles de compromettre la salubrité publique ;

3° S'ils sont susceptibles par leur température ou leur nature de rendre les eaux impropres à l'alimentation des hommes et des animaux, à leur emploi aux usages domestiques, à leur utilisation pour l'agriculture ou l'industrie, ou à la conservation du poisson.

ART. 13.

Dispositions particulières et locales.

. . . .

. . . .

Art. .

Garde-rivières.

Il pourra être institué, sur la demande des intéressés et à leur charge, des garde-rivières spécialement chargés de veiller à l'exécution du présent règlement.

Ces agents seront commissionnés par le sous-préfet et prêteront serment devant le tribunal de l'arrondissement.

Art. .

Répression des contraventions.

Les contraventions aux dispositions du présent règlement seront constatées au moyen de procès-verbaux dressés par les garde-rivières ou par tout autre agent de l'autorité ayant qualité à cet effet.

Ces procès-verbaux, s'ils ont été dressés par les garde-rivières ou des agents commissionnés du service hydraulique, seront affirmés dans les trois jours de leur date devant le maire ou le juge de paix, soit de la résidence de l'agent, soit du lieu de la contravention. Ils seront visés pour timbre et enregistrés en débet dans un délai de quatre jours après l'affirmation et déférés aux juridictions compétentes.

Copie de chaque procès-verbal sera remise, par l'agent qui l'aura dressé, au maire de la commune et notifié par celui-ci au contrevenant avec sommation, s'il y a lieu, de faire cesser immédiatement le dommage.

Art. .

Le présent règlement sera publié et affiché dans toute l'étendue du département et inséré au *Bulletin des actes administratifs* de la préfecture.

Des expéditions en seront adressées à l'Ingénieur en chef, aux sous-préfets et aux maires chargés, chacun en ce qui le concerne, de surveiller et d'assurer l'exécution des dispositions prescrites.

Fait à

III

POLICE DES EAUX. — POLLUTION DES NAPPES SOUTERRAINES

MINISTÈRE
DE
AGRICULTURE

DIRECTION
DE
HYDRAULIQUE
ET DES
A..IORATIONS AGRICOLES

1er BUREAU

versements dans les
s d'eau non navigables
ottables d'égouts com-
aux et d'eaux prove-
d'établissements dan-
ux, incommodes ou
ubres.

CIRCULAIRE
N° 453

Paris, le 20 août 1906.

LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE

à Monsieur le Préfet d

De nombreuses plaintes m'ont été adressées de diverses régions du territoire contre la contamination des cours d'eau non navigables ni flottables : l'enquête à laquelle j'ai fait procéder m'ayant montré que ces réclamations étaient parfaitement fondées, il me paraît indispensable de chercher à remédier à une situation qui s'aggrave tous les jours au point de ne pouvoir être tolérée et qui présente, pour l'utilisation des eaux, des inconvénients au moins aussi grands que pour la salubrité.

L'Administration chargée de la conservation des cours d'eau non navigables ni flottables a le devoir de veiller soigneusement à ce qu'aucun déversement susceptible d'altérer la qualité naturelle de leurs eaux ne soit effectué, et je ne saurais trop insister, Monsieur le Préfet, pour qu'il soit strictement tenu compte, à l'avenir, des prescriptions de ma circulaire du 1er juin 1906 en ce qui concerne les mesures à prendre par le service hydraulique pour protéger, contre la pollution des eaux, les intérêts de toutes natures qui lui sont confiés.

Parmi les déversements les plus nuisibles dont il convient avant tout de se préoccuper se placent au premier rang les égouts établis par les communes. Les villes qui construisent des égouts ou qui transforment leur réseau déjà construit en vue de l'écoulement des matières de vidange sont, en effet, de plus en plus nom-

breuses, et dans la plupart des cas, elles évacuent leurs eaux usées dans les rivières sans prendre les précautions indispensables pour faire disparaître les éléments nocifs qu'elles renferment, sans se rendre compte qu'elles n'ont ainsi éloigné de leurs habitants les germes d'infections que pour les reporter vers l'aval au préjudice des populations riveraines dont la santé est menacée et qui ne peuvent plus utiliser les eaux pour les multiples usages auxquels elles servaient précédemment.

Dans un grand nombre de cas, les déversements industriels présentent des inconvénients presque aussi graves que ceux qui résultent des égouts en raison de leur composition ou de leur température, et les évacuations des eaux résiduaires des établissements classés comme dangereux, incommodes ou insalubres rentrent le plus souvent parmi ceux qui peuvent causer les plus graves préjudices aux usages des eaux.

Des indications qui précèdent résulte la nécessité absolue que les déversements provenant soit d'égouts, soit d'établissements dangereux, ne puissent jamais être opérés que d'une façon régulière, c'est-à-dire après que les ingénieurs du Service hydraulique les auront reconnus susceptibles d'être autorisés et dans les conditions qu'ils estimeront convenables pour empêcher que les divers intérêts dont ils ont la charge ne soient lésés.

La construction des égouts dépendant du Ministre de l'Intérieur, la police des établissements classés étant exercée sous le contrôle du Ministre du Commerce, de l'Industrie et du Travail, je me suis entendu avec mes Collègues pour soumettre la réglementation des déversements de ces deux catégories dans les cours d'eau non navigables ni flottables à la procédure suivante, qui a été arrêtée d'un commun accord.

Égouts. — Les déversements d'eau d'égouts sont manifestement compris parmi ceux qui sont interdits par le règlement de police qui doit intervenir en exécution de la circulaire du 1er juin 1906; ils ne peuvent par suite, en principe, être autorisés qu'en vertu d'une déclaration d'utilité publique. Cependant, lorsque les eaux usées ne seront pas, en tenant compte de leur volume et de leur composition, de nature à influer sensiblement, à aucun moment de l'année, sur la qualité des eaux des cours d'eau où elles seront évacuées, leur écoulement pourra être autorisé par vous de la même manière que celui des eaux propres. Mais le déversement devra nécessairement être déclaré d'utilité publique toutes les fois que la ville qui l'effectuera fera application du système du tout-à-l'égout, soit qu'elle établisse à cet effet de nouveaux égouts, soit qu'elle se serve d'un réseau déjà existant.

Les déversements, qu'ils soient déclarés d'utilité publique ou qu'ils fassent l'objet d'un simple arrêté préfectoral, ne doivent être

autorisés que sous réserve des conditions nécessaires pour permettre l'utilisation des eaux aux différents usages auxquels elles servent, pour assurer le libre écoulement de ces eaux compromis par des dépôts préjudiciables à la fois aux usines et à ceux auxquels incombe la charge du curage, enfin pour maintenir la salubrité. Vous devez donc communiquer aux ingénieurs du Service hydraulique, pour qu'ils puissent faire les propositions utiles à cet égard, tous les projets d'égout sans exception.

J'appelle d'ailleurs votre attention sur ce que cette communication devra être faite, même s'il s'agit de villes d'une population supérieure à 5000 habitants, bien qu'en vertu de la loi du 15 février 1902, sur la santé publique, les projets d'égouts concernant les agglomérations de cette importance doivent être soumis au Conseil supérieur hygiénique de France. L'examen fait par ce Conseil donne, en effet, toute garantie aux populations d'aval au point de vue de la santé publique, mais elle ne saurait sauvegarder leurs intérêts ni en ce qui concerne l'utilisation des eaux, ni en ce qui concerne leur libre écoulement. Seul, le Service hydraulique peut apprécier quelles mesures doivent être prises pour la défense de ces divers intérêts, et son avis doit, par suite, encore dans ce cas, être nécessairement demandé.

Les prescriptions à insérer dans les actes d'autorisation sur la proposition du Service hydraulique ont, ainsi que je l'ai indiqué précédemment, pour objet, d'une part, de sauvegarder la salubrité, l'alimentation des hommes et des animaux, l'utilisation des eaux pour les besoins domestiques, pour l'agriculture et l'industrie, d'autre part, de pourvoir aux curages dont la nécessité résulterait de l'établissement des égouts.

Les conditions qu'il conviendra d'imposer aux communes à ces divers points de vue devront être déterminées par les ingénieurs après une enquête hydraulique suivie d'une conférence avec les représentants du Service municipal chargés de la construction des égouts. Cette procédure devra, d'ailleurs, être suivie non seulement lorsqu'une commune projettera l'établissement de nouveaux égouts, mais encore lorsqu'elle aura l'intention de se servir d'un réseau déjà existant pour l'évacuation d'eaux usées d'une nouvelle nature, qui ne s'y écoulaient pas précédemment, en particulier pour l'application du tout-à-l'égout. Dans ce cas, en effet, l'autorisation ou la tolérance dont la commune bénéficiait auparavant ne saurait conserver ses effets, puisque l'importance et la nature des déversements sont complètement modifiées et que leurs inconvénients pour les rivières où ils sont effectués deviennent par suite beaucoup plus considérables.

Pour réduire les formalités, l'enquête hydraulique nécessaire pourra avoir lieu en même temps que celle qui sera ouverte sur le travail communal à exécuter, sous la réserve expresse, d'une part

que l'arrêté ordonnant cette information spécifiera nettement qu'elle porte sur le principe du déversement des eaux usées, et d'autre part, que l'enquête sera ouverte dans toutes les communes riveraines du cours d'eau dans la partie où la qualité des eaux pourra être influencée.

Le procès-verbal des conférences devra toujours être joint au dossier qui me sera adressé s'il y a lieu à déclaration publique. Lorsque le déversement pourra être autorisé par arrêté préfectoral, vous devrez me saisir, sous le timbre de la Direction de l'hydraulique et des améliorations agricoles, s'il y a désaccord entre les conférents; dans le cas contraire, vous aurez seulement à m'envoyer la copie du procès-verbal de la conférence.

Je vous adresserai, d'ailleurs, ultérieurement des instructions plus détaillées au sujet des conditions à imposer aux communes en ce qui concerne les déversements d'eau d'égouts dans les cours d'eau non navigables ni flottables.

Établissements classés comme dangereux, incommodes ou insalubres. — Les établissements industriels de cette catégorie sont, suivant leur classe, autorisés, sous le contrôle de M. le Ministre du Commerce, soit par vous, soit par le sous-préfet de l'arrondissement dans lequel ils sont situés; mais cette réglementation, qui n'a d'autre but que de prendre les mesures destinées à protéger les populations contre les risques et les incommodités résultant du voisinage de l'usine, ne concerne pas l'évacuation des eaux résiduaires qui peut, dans certains cas, être effectuée dans un cours d'eau non navigable ni flottable. Cet écoulement ne doit être opéré qu'en vertu d'une autorisation spéciale imposant à l'industriel l'observation des précautions reconnues nécessaires par le Service hydraulique pour sauvegarder les divers intérêts qui lui sont confiés.

Cependant les propriétaires d'établissements classés peuvent s'expliquer parfois difficilement la nécessité de cette double réglementation, et il conviendra, pour réduire les formalités qui leur sont imposées, d'adopter la procédure suivante : En adressant sa demande d'autorisation, l'industriel devra faire connaître si les eaux résiduaires provenant de son usine devront être évacuées dans un cours d'eau non navigable ni flottable. Dans l'affirmative, il devra être procédé parallèlement à l'instruction relative à l'autorisation de l'établissement et à celle qui concerne le déversement.

L'enquête hydraulique qui devra être faite dans les conditions fixées par le décret du 1er août 1905 pourra avoir lieu au même moment que celle qui sera ouverte sur le principe de l'établissement de l'usine. Elle devra être suivie d'une conférence entre les ingénieurs du Service hydraulique et les agents chargés de l'élaboration de l'arrêté d'autorisation dans le but d'empêcher que des

prescriptions contradictoires ne soient imposées à l'industriel par les deux Administrations intéressées. En cas de désaccord entre les conférents, vous devrez m'en saisir sous le timbre de la Direction de l'hydraulique et des améliorations agricoles.

Les conditions à ordonner par le Service hydraulique devront d'ailleurs avoir pour objet, ainsi que je vous l'ai indiqué à propos des égouts, de sauvegarder l'utilisation des eaux et d'assurer leur libre écoulement ainsi que la salubrité.

Les instructions qui précèdent ont pour but de combattre, aussi efficacement que le permet la législation actuelle, la contamination sans cesse croissante des cours d'eau non navigables, ni flottables, mais le Service hydraulique auquel incombe la gestion de toutes les eaux qui ne font pas partie du domaine public doit également se préoccuper de la préservation des nappes souterraines et des sources qu'elles alimentent. Les eaux de ces provenances sont employées de plus en plus par les populations rurales qui s'en servent, indépendamment de l'alimentation publique, pour leurs besoins domestiques ainsi que pour l'irrigation. Le Service hydraulique et des améliorations agricoles qui subventionne ces entreprises et prête le concours de ses agents pour leur réalisation doit donc nécessairement intervenir pour protéger ces eaux contre une pollution qui les rendrait inutilisables.

Il est vrai que la loi sur la santé publique prévoit la constitution d'un périmètre de protection pour défendre les eaux servant à l'alimentation des communes, mais ces précautions, qui peuvent être efficaces pour conserver la pureté de ces eaux, ne sauraient assurer la préservation de toute la nappe d'où elles proviennent, et, pour ne pas rendre dangereuse son utilisation, c'est aux causes mêmes de contamination qu'il faut remédier.

Parmi les opérations qui présentent le plus de danger à cet égard se place l'épandage. Conformément à une entente intervenue entre M. le Ministre de l'Intérieur et mon Administration, les projets communaux de cette nature devront être, à l'avenir, soumis au Service hydraulique qui devra les examiner de façon qu'ils soient établis en prenant toutes les précautions nécessaires pour éviter la pollution de la nappe souterraine. Les dispositions qu'il conviendra de prescrire à cet égard feront l'objet de conférences entre les ingénieurs du Service hydraulique et les représentants du Service municipal chargés des projets d'épandage; elles seront insérées dans l'acte déclaratif d'utilité publique des travaux qui paraît indispensable pour autoriser l'entreprise, étant donnée sa nature, même si la commune n'avait pas besoin de recourir à l'expropriation pour acquérir les terrains nécessaires à l'opération.

Indépendamment des dispositions destinées à préserver la nappe souterraine, le service auquel incombe la surveillance de la rivière

où les eaux provenant de l'épandage seront en dernier lieu évacuées, pourra réglementer les déversements de façon à remédier aux inconvénients qui pourraient en résulter. Lorsque l'écoulement aura lieu dans un cours d'eau non navigable ni flottable, l'instruction relative à son autorisation devra évidemment être faite par le Service hydraulique en même temps que celle concernant l'influence de l'épandage sur la nappe souterraine.

Des indications ultérieures vous seront d'ailleurs adressées en ce qui concerne les conditions à imposer aux communes qui projetteront des travaux de cette nature.

J'appelle toute votre attention, Monsieur le Préfet, sur l'importance des mesures à prendre pour faire cesser la contamination des eaux des cours d'eau non navigables ni flottables, et pour protéger les nappes souterraines ; je ne saurais trop insister pour que les formalités réglementaires dont les instructions qui précèdent vous ont montré toute l'utilité soient à l'avenir rigoureusement observées.

J'adresse à M. l'Ingénieur en chef du Service hydraulique un exemplaire de la présente Circulaire que je vous prie d'insérer au *Bulletin des Actes administratifs* de votre département.

J. RUAU.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES FIGURES

60816. — PARIS, IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE
9, rue de Fleurus, 9.